UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Evaluación y propuesta de recirculación de los efluentes de equipos de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por:

Jackeline Gabriela Hernández Girón

Isabel Herrera Corado

Sergio Alejandro Méndez Muñoz

Marlyn Andrea Mérida Gómez

Luis Felipe Oliva Contreras

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2018

Evaluación y propuesta de recirculación de los efluentes de equipos de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Evaluación y propuesta de recirculación de los efluentes de equipos de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por:

Jackeline Gabriela Hernández Girón

Isabel Herrera Corado

Sergio Alejandro Méndez Muñoz

Marlyn Andrea Mérida Gómez

Luis Felipe Oliva Contreras

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2018

Vo. Bo.:

(f)_____

Ing. Frances Annette Recari Fernández

(Coordinadora de megaproyecto)

(f)_____

M.Sc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano

(Director del depto. de Ing. Química)

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) _____

M.Sc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Director del departamento de Ingeniería Química

Fecha de aprobación: Guatemala, 05 de noviembre de 2018

INDICE

LISTA DE CUADROS ix

LISTA DE FIGURAS xviii

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 2

A. Objetivo general 2

B. Objetivos específicos 2

III. JUSTIFICACIÓN 6

IV. MARCO TEÓRICO 7

A. Características fisicoquímicas del agua 7

1. Clasificación 7

2. Parámetros del agua 7

3. Factores que favorecen la corrosión 8

4. Agua superficial y subterránea 9

B. Industria del azúcar en Guatemala 10

1. Identificación de la empresa 10

C. Utilización del agua en la industria azucarera 10

1. Sistemas de circulación de agua 10

2. Calentamiento 11

3. Enfriamiento 11

4. Materia prima 11

5. Transporte 11

6. Lavado 12

7. Generación de energía 12

D. Equipos utilizados en patio de caña 12

1. Equipos para la preparación de la caña. 12

2. Rodamientos 13

3. Reductores 14
4. Sistemas de enfriamiento de lubricantes 14
E. Equipos utilizados en molinos 15
1. Chumaceras 16
2. Transmisiones 16
F. Uso del agua de enfriamiento en fábrica 17
1. Cristalización por enfriamiento 17
2. Lubricación de cojinetes con agua 17
3. Agua para lavados 18
4. Otros usos 18
G. Área de calderas en un ingenio azucarero 19
1. Generalidades de los generadores de vapor 19
2. Partes de un generador de vapor 20
3. Clasificación de las calderas 21
4. Calidad del agua de alimentación a las calderas 21
5. Parámetros fisicoquímicos en el agua de calderas 22
6. Tratamiento de agua 24
H. Área de cogeneración en un ingenio azucarero 24
I. Fluidos no compresibles en tuberías 26
1. Número de Reynolds 26
2. Ecuación de continuidad 26
3. Velocidad media 27
4. Ecuación de Bernoulli 28
5. Efecto de la rugosidad en tuberías 28
6. Fricción debida a las variaciones de velocidad o dirección 30
J. Diseño de sistema hidráulicos 33
1. Tuberías y tamaños más comunes en las industrias 33
2. Selección del tamaño de tubería 34
3. Juntas y accesorios 34
4. Válvulas 35
5. Bombas 35

6. Altura de succión y cavitación 36
K. Torres de enfriamiento 37
1. Clasificación de las torres de enfriamiento 38
2. Componentes de la torre de enfriamiento 39
3. Diseño de torres de enfriamiento 42
L. Tanques de acero para agua 47
1. Ventajas de utilizar tanques en un sistema 47
2. Tipos de tanque soportados en el suelo 47
3. Materiales 47
4. Grosor 47
5. Accesorios para standpipes y reservorios 48
6. Diseño de las bases 49
7. Tipos de bases para tanques de fondo plano 49
8. Controles de nivel utilizados en tanques. 49
9. Mezclado del contenido del tanque 50
M. Normas legales 50
N. Costos 51
V. ANTECEDENTES 52
A. Módulo 1: Molinos tándem “B” 52
1. Abastecimiento de agua 52
2. Sistemas de enfriamiento actuales 52
3. Área de molinos tándem B 53
B. Módulo 2: Área de patio de caña 57
1. Fuentes de abastecimiento de agua en el ingenio 57
2. Equipos que utilizan agua de enfriamiento en patio de caña 59
C. Módulo 3: Área de fábrica 60
1. Fuentes de abastecimiento de agua en el ingenio 60
2. Uso del agua para enfriamiento y limpieza en equipos de fábrica 61
3. Condiciones meteorológicas del departamento de Escuintla 62
4. Torres de enfriamiento del ingenio 62

D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración 64
1. Situación actual del ingenio 64
E. Módulo 5: Área de molinos tándem "A" 80
1. Situación actual del ingenio 80
2. Características de los afluentes de enfriamiento usados en el área 80
3. Equipos analizados dentro del alcance del proyecto 82
4. Distribución de agua de río Provincias y de pozos en el tándem "A" 83
5. Generalidades sobre el agua de enfriamiento 84
VI. METODOLOGÍA 85
A. Módulo 1: Área de molinos tándem "B" 85
1. Evaluación preliminar 85
2. Medición de caudal 85
3. Análisis químico 86
4. Análisis de datos 87
5. Sistema de recirculación 87
6. Condiciones de operación del agua en el sistema de recirculación 87
7. Calculo estadístico 88
8. Inversión 88
B. Módulo 2: Área de patio de caña 89
1. Evaluación de la gestión actual del agua en el ingenio 89
2. Medición de caudal 90
3. Toma de muestras 90
4. Análisis químicos 90
5. Diagrama del sistema de enfriamiento propuesto 91
6. Dimensionamiento de tanques 92
7. Determinación de la inversión 93
C. Módulo 3: Área de fábrica 93
1. Listado de equipos y reactivos 93
2. Evaluación de la administración del agua en el ingenio 94
3. Identificación de efluentes de agua 94

4. Medición de caudales 94
5. Toma de muestras 95
6. Análisis químicos y físicos 95
7. Propuesta del sistema de recirculación 99
8. Parámetros de diseño de torre de enfriamiento 100
9. Inversión para el sistema de recirculación propuesto en fábrica 101
10. Determinación de desviación estándar 101
D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración 102
1. Listado de equipo y reactivos utilizados. 102
2. Medición de caudal 103
3. Medición de temperatura 103
4. Toma de muestras para los análisis fisicoquímicos del laboratorio 104
5. Determinación de la densidad 105
6. Determinación de la viscosidad cinemática 105
7. Medición de pH, conductividad y salinidad 106
8. Determinación de los sólidos suspendidos 107
9. Determinación de la dureza de $CaCO_3$ 109
10. Determinación de la presencia de grasas y aceites 110
11. Determinación del contenido de hierro en pozos 111
12. Medición de nivel en el área de calderas y cogeneración 111
13. Enfriamiento en serie de equipos seleccionados 113
14. Diseño de captación de los efluentes de agua de los distintos equipos 113
15. Diseño del tanque recolector de efluentes de agua 114
16. Condiciones fisicoquímicas dentro del tanque receptor 115
17. Diseño del circuito de bombeo del agua del tanque recolector 115
18. Costos de inversión del diseño de recirculación propuesto 116
19. Análisis estadístico e incertidumbres 117
E. Módulo 5: Área de tándem “A” 119
1. Listado de equipo 119
2. Análisis preliminar 119
3. Propiedades físicas 120

4. Propiedades químicas 120
5. Diseño de recirculación 122
6. Inversión del módulo 122
7. Inversión y costos de operación para el sistema de recirculación 122
8. Datos estadísticos 123
VII. RESULTADOS 124
A. Módulo 1: Área de molinos tándem “B” 124
B. Módulo 2: Área de patio de caña 136
1. Propiedades físicas y químicas 136
2. Propuesta del sistema de recirculación en patio de caña 137
3. Diseño de tanques de almacenamiento calculados a partir del caudal máximo 144
4. Diseño de tanques de almacenamiento calculados según área disponible 151
5. Costos de equipos, tuberías y accesorios de área de patio de caña 158
C. Módulo 3: Área de fábrica 159
1. Propiedades físicas y químicas de los efluentes analizados 159
2. Parámetros de diseño de torre de enfriamiento 160
3. Inversión de equipos, instrumentos, accesorios y tuberías de fábrica 161
4. Inversión de torre de enfriamiento 161
5. Propuesta del sistema de recirculación de fábrica 162
D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración 175
1. Análisis fisicoquímicos de los efluentes de agua de enfriamiento 175
2. Propuesta de recirculación de efluentes. 177
3. Costos totales de la inversión para el circuito de recirculación 184
E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A” 185
1. Análisis de caudal y propiedades 185
2. Circuito propuesto 186
3. Inversión circuito propuesto 191
4. Costo de inversión, operación y mantenimiento para el proyecto final. 191
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 192
A. Módulo 1: Área de molinos tándem “B” 192

B. Módulo 2: Área de patio de caña 196
C. Módulo 3: Área de fábrica 201
D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración 206
E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A” 211
IX. CONCLUSIONES 215
X. RECOMENDACIONES 223
XI. BIBLIOGRAFÍA 227
XII. ANEXOS 233
A. Módulo 1: Área de molinos tándem “B” 233
1. Datos originales 233
2. Cálculos 252
3. Datos calculados 254
B. Módulo 2: Área de patio de caña 274
1. Datos originales 274
2. Datos calculados intermedios 284
3. Cálculos de muestra 317
C. Módulo 3: Área de fábrica. 327
1. Datos originales 327
2. Cálculos 344
3. Resultados intermedios 362
4. Diagrama de bloques de la distribución del agua en fábrica 387
5. Análisis de grasas y aceites 388
D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración 388
1. Cálculos realizados 388
2. Información de soporte para resultados obtenidos durante el proyecto. 405
3. Figuras generales sobre la propuesta de enfriamiento en serie. 461
4. Planos generales y diagrama de control e instrumentación 465
E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A” 470
1. Datos Originales 470
2. Costos de inversión para propuesta de módulo del tándem “A” de molinos 498

3. Vistas generales 500
4. Costos de accesorios para el sistema de recirculación Completo 505
5. Cálculo de muestra 510
6. Datos calculados 516
7. Curvas características empleadas para la selección de bomba centrífuga 544
F. FICHAS DE ESPECIFICACIONES 545
1. Manuales 545
2. Información adicional utilizada 547
3. Control e instrumentación 603
4. Información consultada 604
XIII. GLOSARIO 610

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre el agua superficial y subterránea 9
Cuadro 2. Efectos de impurezas sobre los equipos de intercambio de calor en fábrica 23
Cuadro 3. Clasificación del agua en función de su grado de dureza 23
Cuadro 4. Condiciones de operación de las calderas bajo un ciclo clásico y uno moderno. 25
Cuadro 5. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios normalizados 32
Cuadro 6. Velocidad recomendada para fluidos en tuberías. 34
Cuadro 7. Parámetros de calidad para el agua de circulación de torres 46
Cuadro 8. Grosor mínimo para las láminas en contacto con agua 48
Cuadro 9. Flujos volumétricos de las fuentes de agua del ingenio 57
Cuadro 10. Flujo de agua extraída de cada fuente de abastecimiento 60
Cuadro 11. Dimensiones del tanque de bombas de meladura, vacío y transferencia 61
Cuadro 12. Altitud y presión atmosférica promedio del departamento de Escuintla 62
Cuadro 13. Coordenadas geográficas de Escuintla, Guatemala en grados decimales 62
Cuadro 14. Humedad relativa y temperatura de bulbo seco promedio registradas 62
Cuadro 15. Condiciones de operación y diseño estructural de la torre de fábrica 63
Cuadro 16. Equipos analizados dentro del área de calderas y cogeneración. 65
Cuadro 17. Equipos analizados en área de calderas y cogeneración y su fuente de agua. 67
Cuadro 18. Distinción de las calderas de ciclo condensing y ciclo de escape en el ingenio 70
Cuadro 19. Información general de todas las calderas disponibles en el ingenio. 71
Cuadro 20. Descripción de los componentes básicos dentro del circuito de vapor de calderas. ... 71
Cuadro 21. Parámetros fisicoquímicos que se controlan en el agua de calderas 74
Cuadro 22. Parámetros que se controlan y se mantienen en la torre del bloque 1 por el lab. 76
Cuadro 23. Parámetros que se controlan y se mantienen en la torre del bloque 2 por el lab. 77
Cuadro 24. Propiedades de agua de pozos y del río 81
Cuadro 25. Descripción de áreas analizadas en el proyecto 82
Cuadro 26. Conversiones correspondientes para la determinación de la dureza 110
Cuadro 27. Rangos de propiedades químicas de efluentes de enfriamiento en tándem B. 124
Cuadro 28. Condiciones de operación de efluentes de enfriamiento que ingresa a la torre 125
Cuadro 29. Inversión para sistema de recirculación de la torre al tanque elevado. 126
Cuadro 30. Inversión para sistema de recirculación del tanque elevado a molinos. 126
Cuadro 31. Costos de operación y mantenimiento del sistema de recirculación. 126
Cuadro 32. Identificación de los equipos en el diagrama P&ID. 127
Cuadro 33. Clave de variables para identificación de los equipos en el diagrama. 129
Cuadro 34. Identificación variables de los equipos en el diagrama anterior. 131
Cuadro 35. Identificación de variab les del diagrama anterior. 133
Cuadro 36. Caudales de los efluentes de equipos de enfriamiento en patio 136
Cuadro 37. Bombas requeridas para impulsar el agua del patio de caña a tanque general 137
Cuadro 38. Clave del diagrama P&ID del tándem A 139
Cuadro 39. Clave del diagrama P&ID del tándem B 142
Cuadro 40. Especificaciones del diseño de tanques calculados a partir del caudal máximo 144

Cuadro 41. Especificaciones del diseño de tanques calculados para área disponible 151
Cuadro 42. Costos de equipos, tuberías y accesorios 158
Cuadro 43. Rango propiedades químicas obtenidos para efluentes de fábrica 159
Cuadro 44. Características de diseño de la torre propuesta para circuito de recirculación 160
Cuadro 45. Condiciones de operación y diseño de torre propuesta 160
Cuadro 46. Especificaciones de equipos requeridos para la torre..... 161
Cuadro 47. Inversión para el sistema de recirculación de los efluentes de fábrica 161
Cuadro 48. Inversión requerida para la torre del sistema de recirculación 161
Cuadro 49. Clave de variables utilizadas para interpretación en los esquemas 162
Cuadro 50. Clave de variables utilizadas para identificación en los esquemas..... 163
Cuadro 51. Valores obtenidos de caudal para los grupos de equipos analizados en ingenio 175
Cuadro 52. Parámetros fisicoquímicos analizados según su fuente de agua..... 176
Cuadro 53. Parámetros fisicoquímicos obtenidos para las torres del bloque 1 y 2 177
Cuadro 54. Resumen del costo de la implementación del circuito de recirculación. 184
Cuadro 55. Caudales y temperaturas obtenidos en los días de medición..... 185
Cuadro 56. Comparación de parámetros de calidad de agua obtenidos con requeridos..... 186
Cuadro 57. Clave de variables para identificación de equipos en Fig 61-64..... 186
Cuadro 58. Datos obtenidos para selección de bomba requerida en el sistema 190
Cuadro 59. Especificaciones de bomba cotizada para sistema propuesto de recirculación..... 190
Cuadro 60. Inversión circuito de recirculación propuesto para el tándem “A” de molinos. 191
Cuadro 61. Costos para el circuito propuesto en el tándem “A”. 191
Cuadro 62. Inversión por insumos e instalación del sistema completo de recirculación. 191
Cuadro 63. Costos de operación y mantenimiento del sistema completo de recirculación. 191
Cuadro 64. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B 233
Cuadro 65. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B. 234
Cuadro 66. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)..... 235
Cuadro 67. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)..... 236
Cuadro 68. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B) 237
Cuadro 69. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B) 238
Cuadro 70. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B. 239
Cuadro 71. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B. 240
Cuadro 72. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B). 241
Cuadro 73. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)..... 242
Cuadro 74. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B). 243
Cuadro 75. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B) 244
Cuadro 76. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B. 245
Cuadro 77. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B. 246
Cuadro 78. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)..... 247
Cuadro 79. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)..... 248
Cuadro 80. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B) 249
Cuadro 81. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B) 250
Cuadro 82. Propiedades de las fuentes de agua tomadas en cuenta en este trabajo 251

Cuadro 83. Porcentajes utilizados para el cálculo de costos de los equipos. 251
Cuadro 84. Caudales obtenidos de las mediciones en reductores. 254
Cuadro 85. Caudales obtenidos de las mediciones en reductores. 255
Cuadro 86. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona. 256
Cuadro 87. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona. 257
Cuadro 88. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona. 258
Cuadro 89. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga. 258
Cuadro 90. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga. 259
Cuadro 91. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga. 260
Cuadro 92. Diferencial de temperatura respecto a fuente de agua del tanque del T.A. 261
Cuadro 93. Dif. de temperatura de fuente de agua integrado al sistema de recirculación. 262
Cuadro 94. Dif. de temperatura respecto a los efluentes de patio de caña del T.A. 263
Cuadro 95. Dif. de T respecto a la fuente de agua y energía en balance del tanque T.B. 263
Cuadro 96. Dif. de T respecto a la fuente de agua del tanque del T.B. 264
Cuadro 97. Dif. de T respecto a la fuente de efluentes de patio de caña de T.A. 265
Cuadro 98. Dif. de T respecto a la fuente de agua de los efluentes de fábrica. 265
Cuadro 99. Temperaturas efluentes obtenidas con respecto a las fuentes de agua. 266
Cuadro 100. Balance de energía del tanque general del sistema de recirculación. 267
Cuadro 101. Temperaturas obtenidas del balance de energía. 268
Cuadro 102. Parámetros del agua de enfriamiento, de reposición y de la piscina de la torre. 268
Cuadro 103. Inversión del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado. 268
Cuadro 104. Inversión inicial del sistema recirculación del tanque elevado a molinos. 269
Cuadro 105. Longitud equivalente de accesorios en sistema de recirculación de torre 269
Cuadro 106. Pérdida de cabeza en el sistema de recirculación por tuberías y accesorios. 269
Cuadro 107. Variables de ec. de Bernoulli para sistema de recirculación de torre. 269
Cuadro 108.Condiciones del agua a la entrada de la torre de enfriamiento 270
Cuadro 109. Datos de solidos suspendidos en molinos tándem B. 270
Cuadro 110. Iteraciones para el cálculo de pH en el agua de alimentación de la torre. 271
Cuadro 111. Iteraciones para el cálculo de dureza en el agua de alimentación de la torre. 271
Cuadro 112. Iteraciones para cálculo de conductividad en agua de alimentación de la torre. 272
Cuadro 113. Iteraciones para el cálculo de salinidad en el agua de alimentación de la torre. 273
Cuadro 114. Medición de caudal del día jueves 15-02-18 275
Cuadro 115. Medición de caudal del día jueves 15-02-18 (continuación) 276
Cuadro 116. Medición de caudal del día jueves 15-02-18 (con.) 277
Cuadro 117. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18 278
Cuadro 118. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18 (cont.) 279
Cuadro 119. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18 (cont.) 280
Cuadro 120. Medición de caudal del día sábado 07-04-18 281
Cuadro 121. Medición de caudal del día sábado 07-04-18 (cont.) 282
Cuadro 122. Medición de propiedades del agua del día 05-04-18 (parte 1) 283
Cuadro 123. Medición de propiedades del agua del día 05-04-18 (parte 2) 283
Cuadro 124. Caudales promedio calculados para cada día de medición 284

Cuadro 125. Medición de propiedades de las fuentes de agua 287
Cuadro 126. Caudales promedio del día jueves 15-02-18 288
Cuadro 127. Caudales promedio del día miércoles 07-03-18 289
Cuadro 128. Caudales promedio del día sábado 07-04-18 290
Cuadro 129. Caudales promedio obtenidos en los tres días de medición 290
Cuadro 130. pH promedio de los dos días de medición 291
Cuadro 131. Conductividad promedio de los dos días de medición 291
Cuadro 132. Dureza promedio de los dos días de medición 292
Cuadro 133. Salinidad promedio de los dos días de medición 292
Cuadro 134. Diámetros calculados de tuberías para sistema aéreo 293
Cuadro 135. Tuberías instaladas y tuberías de diseño para sistema aéreo 294
Cuadro 136. Longitud equivalente por codos y uniones T para sistema aeéro 295
Cuadro 137. Longitud equivalente por válvulas para sistema aeéro 296
Cuadro 138. Contracciones y expansiones para sistema aeéro 297
Cuadro 139. Longitudes equivalentes totales para sistema aeéro 298
Cuadro 140. Cabezas totales para sistema aeéro 299
Cuadro 141. NPSH disponible sistema aéreo 299
Cuadro 142. Especificaciones de las bombas para el sistema aéreo 300
Cuadro 143. Diámetros calculados para el sistema de tuberías subterráneo 300
Cuadro 144. Tuberías instaladas y tuberías de diseño para el sistema subterráneo 301
Cuadro 145. Longitud equivalente por codos y uniones T para sistema subterráneo 302
Cuadro 146. Longitud equivalente por válvulas para sistema subterráneo 303
Cuadro 147. Contracciones y expansiones para sistema subterráneo 304
Cuadro 148. Longitudes equivalentes totales para sistema subterráneo 305
Cuadro 149. Cabezas totales para sistema subterráneo 306
Cuadro 150. NPSH disponible sistema subterráneo 306
Cuadro 151. Especificaciones de las bombas para el sistema subterráneo 307
Cuadro 152. Especificaciones de las bombas utilizadas en el diseño de tanques 307
Cuadro 153. Medidas de los tanques calculados según el caudal máximo de entrada 308
Cuadro 154. Medidas de los tanques calculados según área disponible en ingenio 309
Cuadro 155. Accesorios de los tanques 310
Cuadro 156. Láminas para construcción de los tanques según el caudal máximo de entrada 311
Cuadro 157. Láminas para construcción de los tanques según área disponible en ingenio 311
Cuadro 158. Pintura para cubrir los tanques calculados con el caudal máximo de entrada 312
Cuadro 159. Pintura requerida para cubrir los tanques calculados según espacio disponible 312
Cuadro 160. Parámetros de control de nivel 312
Cuadro 161. Inversión del equipo importado 313
Cuadro 162. Inversión de tuberías 313
Cuadro 163. Inversión de válvulas y accesorios 314
Cuadro 164. Inversión de contracciones y expansiones 315
Cuadro 165. Inversión de los tanques 316
Cuadro 166. Inversión de las bombas 317

Cuadro 167. Propiedades del agua de Tanque Elevado 318
Cuadro 168. Volumen y tiempo registrado en la salida de cristalizadores de masa tercera 327
Cuadro 169. Datos registrados en efluentes de bandejas de cristalizadores de masa tercera 328
Cuadro 170. Datos registrados en efluentes de bombas de vacío de filtros rotativos 329
Cuadro 171. Datos de efluentes de limpieza de bandas transportadoras de cachaza 330
Cuadro 172.Datos registrados en efluentes de enfriamiento de centrifugas G8..... 331
Cuadro 173. Registros en efluente de enfriamiento de centrifugas G8 (continuación)..... 332
Cuadro 174. Registros en efluentes de bombas de transferencia, de vacío y de meladura..... 333
Cuadro 175. Registros en efluentes de bombas de refinería en dos días de muestreo 334
Cuadro 176. Datos registrados en salida de bombas de transferencia de evaporadores 334
Cuadro 177. Datos registrados en salida de agua de hidrolavadora..... 335
Cuadro 178. Datos registrados en salida 1 del turbogenerador 4MW 336
Cuadro 179. Volumen y tiempo registrado en salida 2 del turbogenerador 4MW..... 336
Cuadro 180. Registro de análisis de TSS realizado para 11 salidas de agua de fábrica 337
Cuadro 181. Propiedades fisicoquímicas determinadas para los once efluentes analizados 337
Cuadro 182. Propiedades fisicoquímicas determinadas para los efluentes analizados..... 338
Cuadro 183. Propiedades fisicoquímicas determinados para fuentes de abastecimiento 339
Cuadro 184. Datos de presión atmosférica obtenidos para el análisis respectivo. 340
Cuadro 185. Datos de presión atmosférica obtenidos (Continuación)..... 341
Cuadro 186. Humedad relativa y temperaturas de la base de datos del ingenio 342
Cuadro 187.Humedad relativa y temperatura de la base de datos del ingenio (Cont.)..... 343
Cuadro 188. Especificaciones para la bomba 1..... 349
Cuadro 189. Datos de equilibrio para el sistema aire-agua..... 352
Cuadro 190. Datos de la curva de operación 354
Cuadro 191. Segmentos para la determinación de NTOG..... 356
Cuadro 192. Caudal en salida del agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera 362
Cuadro 193. Caudal promedio para agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera.... 363
Cuadro 194. T. prom. del agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera 363
Cuadro 195. Caudal en salida del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera 363
Cuadro 196. Caudal promedio del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera 364
Cuadro 197. Te. prom. del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera..... 364
Cuadro 198. Caudal en salida del agua de bombas de vacío de filtros rotativos..... 364
Cuadro 199. Promedio del caudal del agua bombas de vacío de los filtros rotativos 365
Cuadro 200. Temperatura prom. Del efluente de las bombas de vacío de los filtros rotativos ... 365
Cuadro 201. Caudal en salida del agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza 365
Cuadro 202. Caudal promedio para agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza 366
Cuadro 203. Temperatura prom. del agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza ... 366
Cuadro 204.Caudal determinado en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8 366
Cuadro 205. Caudal en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8 (cont.) 367
Cuadro 206. Caudal en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8..... 367
Cuadro 207. Caudal promedio determinado para el agua de enfriamiento de centrifugas G8 367
Cuadro 208. Promedio de temperatura del agua de enfriamiento de centrifugas G8 367

Cuadro 209. Caudal en salida de agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura 368
Cuadro 210. Caudal prom. para agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura 369
Cuadro 211. T prom. del agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura 369
Cuadro 212. Caudal determinado en la salida del agua de bombas de refinería 369
Cuadro 213. Promedio del caudal determinado para salida del agua de bombas de refinería..... 369
Cuadro 214. Promedio de la temperatura del agua de bombas de refinería 369
Cuadro 215. Caudal en la salida de bombas de transferencia de evaporadores 370
Cuadro 216. Caudal promedio para efluente de bombas de transferencia de evaporadores..... 370
Cuadro 217. Temperatura prom. del agua de bombas de transferencia de evaporadores..... 370
Cuadro 218. Volumen y tiempo registrado en la salida del agua de hidrolavadora 370
Cuadro 219. Promedio del caudal determinado para la salida de hidrolavadora 370
Cuadro 220. Promedio de la temperatura del agua de hidrolavadora 371
Cuadro 221. Caudal determinado en la salida 1 del turbogenerador 4MW 371
Cuadro 222. Promedio del caudal determinado para salida 1 del turbogenerador 4MW..... 371
Cuadro 223. Promedio de temperatura del agua de salida del turbogenerador 4MW..... 371
Cuadro 224. Caudal determinado en la salida 2 del turbogenerador 4MW 372
Cuadro 225. Promedio del caudal determinado para la salida 2 del turbogenerador 4MW 372
Cuadro 226. Promedio de la temperatura del agua de salida 2 del turbogenerador 4MW 372
Cuadro 227. Sólidos suspendidos totales determinados para once efluentes 373
Cuadro 228. Promedio de las propiedades químicas determinados para los efluentes 374
Cuadro 229. Promedio de propiedades analizadas de fuentes de abastecimiento de agua 374
Cuadro 230. Variables determinadas para las tuberías 375
Cuadro 231. Accesorios para trayecto del efluente de cristalizadores a tanque de fábrica 376
Cuadro 232. Accesorios para trayecto de bombas de vacío de filtros a tanque de fábrica..... 376
Cuadro 233. Accesorios para efluente de enfriamiento de centrifugas G8 a tanque de fábrica .. 376
Cuadro 234. Accesorios para efluente de hidrolavadora a tanque general en Patio..... 376
Cuadro 235. Accesorios para efluente recolectado en tanque de fábrica a tanque de Patio 376
Cuadro 236. Accesorios para bomba que envía flujo del tanque de fábrica a colector 377
Cuadro 237. Accesorios de bomba que envía flujo del tanque de fábrica a colector 377
Cuadro 238. Accesorios requeridos para trayecto de tubería del agua de alimentación a torre .. 377
Cuadro 239. Accesorios en succión de bomba que envía flujo del tanque de colector a torre 377
Cuadro 240. Accesorios de bomba que envía flujo del tanque de colector a torre..... 378
Cuadro 241. Valores para determinar pérdidas por fricción, accesorios y superficie 378
Cuadro 242. Pérdidas por fricción en contracción y expansión..... 379
Cuadro 243. Pérdida total por fricción en cada trayecto del sistema de recirculación..... 380
Cuadro 244. Cabeza total determinada para bomba según trayecto de tubería (Cont.)..... 380
Cuadro 245. Cabeza total determinada para bomba según trayecto de tubería (Cont.)..... 381
Cuadro 246. NPSH disponible determinado para las bombas dimensionadas 381
Cuadro 247. Especificaciones de bomba para llevar flujo del tanque de fábrica al general..... 382
Cuadro 248. Especificaciones de bomba requerida para llevar el flujo hacia la torre..... 382
Cuadro 249. Potencia hidráulica 383
Cuadro 250. Temperatura de bulbo húmedo y presión atmosférica promedio 383

Cuadro 251. Flujo de aire seco mínimo (Gs min) y flujo de aire real 383
Cuadro 252. Factores para el relleno laminar, altura y número de unidades de transferencia 383
Cuadro 253. Flujo de agua y presión en boquilla de aspersión 383
Cuadro 254. Pérdidas por evaporación y arrastre determinadas para la torre 383
Cuadro 255.Costos por tuberías, accesorios, instrumento y válvulas por trayecto 384
Cuadro 256. Costos por tuberías, accesorios y válvulas por trayecto (cont.)..... 385
Cuadro 257. Costos por bombas 386
Cuadro 258.Costo de torre propuesta para sistema general de recirculación 386
Cuadro 259. Accesorios del circuito de bombeo y sus coeficientes de pérdida de fricción 401
Cuadro 260. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento analizados. 405
Cuadro 261. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos 409
Cuadro 262. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos 413
Cuadro 263. Datos de caudal para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos 417
Cuadro 264. Caudales para los equipos analizados sin considerar propuesta de enfriamiento ... 418
Cuadro 265. Caudales para los equipos analizados bajo la propuesta de enfriamiento en serie.. 420
Cuadro 266. Caudales para los equipos bajo la propuesta de enfriamiento en serie. 421
Cuadro 267. Caudales en tuberías principales de recolección de efluentes de enfriamiento. 422
Cuadro 268. Análisis de vel. en las tuberías de recolección de efluentes de enfriamiento. 424
Cuadro 269. Temperaturas registradas para efluente de distintos equipos analizados 426
Cuadro 270. Análisis para determinar T_f de efluentes de equipos para propuesta 428
Cuadro 271. Análisis de densidad para efluentes de enfriamiento de los equipos 429
Cuadro 272. Análisis de TSS para los efluentes de enfriamiento de equipos 431
Cuadro 273. Análisis de viscosidad para los efluentes de enfriamiento de equipos 433
Cuadro 274. Valores de pH para efluentes de distintos equipos analizados. 435
Cuadro 275. Valores de dureza obtenidos para efluentes analizados 437
Cuadro 276. Valores de conductividad para los efluentes de distintos equipos analizados. 439
Cuadro 277. Valores de salinidad obtenidos para efluentes de distintos equipos 441
Cuadro 278. Análisis de T para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento. 443
Cuadro 279. Condiciones de T para tanque receptor de efluentes de equipos analizados. 445
Cuadro 280. Análisis de pH para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento. 447
Cuadro 281. Análisis de dureza para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento. 449
Cuadro 282. Análisis de salinidad para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento 450
Cuadro 283. Análisis de TSS para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento. 451
Cuadro 284. Parámetros fisicoquímicos de fuentes de agua en el ingenio 452
Cuadro 285. Condiciones del agua en el tanque receptor de los efluentes de los equipos. 452
Cuadro 286. Resultados de la cabeza total y NPSH de la bomba para circuito de bombeo. 453
Cuadro 287. Accesorios requeridos para la distribución de los efluentes de enfriamiento 456
Cuadro 288. Dimensiones generales del tanque de receptor de los efluentes de enfriamiento. .. 457
Cuadro 289. Cotizaciones para el tanque receptor de efluentes de enfriamiento 457
Cuadro 290. Cotización del circuito de bombeo propuesto. 458
Cuadro 291. Cotización de la bomba centrífuga requerida para el circuito de bombeo. 459
Cuadro 292. Cotización de medidor de flujo requerido para el circuito de bombeo. 459

Cuadro 293. Cotización para el tanque receptor de agua. 460
Cuadro 294. Cotización de interruptores de nivel requeridos para el tanque receptor. 460
Cuadro 295. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 1 471
Cuadro 296. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 2 472
Cuadro 297. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 3 473
Cuadro 298. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 1 474
Cuadro 299. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 2 475
Cuadro 300. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 3 476
Cuadro 301. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 1 477
Cuadro 302. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 2 478
Cuadro 303 Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 3 479
Cuadro 304. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 1 480
Cuadro 305. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 2 481
Cuadro 306. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 3 482
Cuadro 307. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 1 483
Cuadro 308. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 2 484
Cuadro 309. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 3 485
Cuadro 310. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 1 486
Cuadro 311. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 2 487
Cuadro 312. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 3 488
Cuadro 313. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 1 489
Cuadro 314. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 2 490
Cuadro 315. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 3 491
Cuadro 316. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 1 492
Cuadro 317. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 2 493
Cuadro 318. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 3 494
Cuadro 319. Propiedades químicas en efluentes del tándem “A” de molinos, día 1 495
Cuadro 320. Propiedades químicas en efluentes del tándem “A” de molinos, día 2 496
Cuadro 321. Pesos para obtención de sólidos suspendidos en los días medidos 497
Cuadro 322. Propiedades químicas medidas de las fuentes principales (afluentes) 498
Cuadro 323. Descripción de accesorios y equipo para la propuesta 1 de recirculación 498
Cuadro 324. Descripción de accesorios y equipo para la propuesta 2 de recirculación 499
Cuadro 325. Clave de variables usadas para identificación de equipos y válvulas 505
Cuadro 326. Accesorios y tuberías por emplear para el circuito de recirculación completo 505
Cuadro 327. Listado de equipo a emplear para el circuito de recirculación completo 509
Cuadro 328. Datos de torre a utilizar para el circuito de recirculación completo. 509
Cuadro 329. Dimensionamiento de tubería seleccionada 512
Cuadro 330. Accesorios para utilizar en el sistema con sus respectivos factores de fricción 513
Cuadro 331. Caudales en el área de reductores de los molinos 1, 2 y 3, día 1 516
Cuadro 332. Caudales en el área de reductores de molinos 1,2 y 3, día 2 517
Cuadro 333. Caudales en el área de reductores de molinos 1,2 y 3, día 3 518
Cuadro 334. Caudales en área de reductores de los molinos 4, 5 y 6, día 1 519

Cuadro 335. Caudales en área de reductores de los molinos 4, 5 y 6, día 2..... 520
Cuadro 336. Caudales en el área de red. de los molinos 4, 5 y 6, día 3 521
Cuadro 337. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 1 522
Cuadro 338. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 2 523
Cuadro 339. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 3 524
Cuadro 340. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 1 525
Cuadro 341. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 2 526
Cuadro 342. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 3 527
Cuadro 343. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 1 528
Cuadro 344. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 2 529
Cuadro 345. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 3 530
Cuadro 346. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 1 531
Cuadro 347. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 2 532
Cuadro 348. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 3 533
Cuadro 349. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 1 534
Cuadro 350. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 2 535
Cuadro 351. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 3 536
Cuadro 352. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 1 537
Cuadro 353. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 2 538
Cuadro 354. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 3 539
Cuadro 355. Propiedades químicas calculadas para los efluentes de tándem “A” 540
Cuadro 356. Propiedades químicas tomadas del tanque recolector de tándem “A” 540
Cuadro 357. Promedio ponderado de la mezcla de agua de los días de medición. 541
Cuadro 358. Comparación de costos para las dos propuestas planteadas 541
Cuadro 359. Costos de mantenimiento para los equipos de las propuestas planteadas. 541
Cuadro 360. Datos obtenidos para el cálculo de bomba en diferentes sistemas. 542
Cuadro 361. Costos de instalación de sistema de recirculación propuesto en general. 542
Cuadro 362. Costos de operación para el sistema de recirculación general propuesto 543
Cuadro 363. Costos de transporte y envío de equipo de bombas traídas desde Miami..... 543
Cuadro 364. Costos de transporte de torre de enfriamiento traído desde México..... 543
Cuadro 365. Estimación de precio de bombeo de agua de pozos y río Provincias 544
Cuadro 366. Precio por metro cúbico de agua para el período de zafra 2017-18 544

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de enfriamiento con intercambiador de calor 15
Figura 2. Esquema de recuperación de condensados en procesos de fábrica de un ingenio 22
Figura 3. Esquema general de un ciclo de cogeneración topping clásico. 25
Figura 4. Representación de la continuidad a través de una conducción 26
Figura 5. Tipos idealizados de rugosidad en tuberías 29
Figura 6. Gráfica del factor de fricción para tuberías circulares. 29
Figura 7. Flujo en una expansión brusca de la sección transversal 30
Figura 8. Flujo en una contracción brusca de la sección transversal 31
Figura 9. Arreglos más comunes de torres de enfriamiento 38
Figura 10. Altura mínima para el colector de agua 41
Figura 11. Diagrama de operación para equipos de enfriamiento de agua con aire 43
Figura 12. Venteo de un tanque 49
Figura 13. Diagrama de distribución de las chumaceras en un molino de cuatro mazas 53
Figura 14. Diagrama de distribución de la planta de producción del ingenio. 54
Figura 15. Diagrama de distribución de agua de enfriamiento en el tándem B 55
Figura 16. Distribución de agua de pozos y Río Provincias 58
Figura 17. Esquema del sistema de enfriamiento en patio de caña 59
Figura 18. Distribución del agua del tanque elevado y de río en el área de fábrica 61
Figura 19. Diagrama de las etapas principales del circuito de agua en las calderas de fábrica 73
Figura 20. Diagrama de efluente del enfriamiento de equipos del bloque 1 a planta de cenizas .. 79
Figura 21. Distribución de agua para enfriamiento de equipos 80
Figura 22. Distribución consumo de agua en el área de molinos tándem “A” 81
Figura 23. P&ID del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado. 128
Figura 24. Dimensiones del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado. 130
Figura 25. Dimensiones del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado. 132
Figura 26. Dimensiones del sistema de recirculación del tanque elevado a molinos. 134
Figura 27.Dimensiones del sistema de recirculación del tanque elevado a molinos. 135
Figura 28. Diagrama P&ID tándem A 138
Figura 29. Medidas del sistema tándem A 140
Figura 30. Diagrama P&ID tándem B 141
Figura 31. Medidas del sistema tándem B 143
Figura 32. Esquema del tanque general calculado a partir del caudal máximo de entrada 145
Figura 33. Medidas del tanque general calculado a partir del caudal máximo de entrada 146
Figura 34. Esquema del tanque T.A. calculado a partir del caudal máximo de entrada 147
Figura 35. Medidas del tanque T.A. calculado a partir del caudal máximo de entrada 148
Figura 36. Esquema del tanque T.B. calculado a partir del caudal máximo de entrada 149
Figura 37. Medidas del tanque T.B. calculado a partir del caudal máximo de entrada 150
Figura 38. Esquema del tanque general calculado segúnárea disponible en ingenio 152
Figura 39. Medidas del tanque general calculado según área disponible en ingenio 153
Figura 40. Esquema del tanque T.A. calculado según área disponible en ingenio 154

Figura 41. Medidas del tanque T.A. calculado según área disponible en ingenio 155
Figura 42. Esquema del tanque T.B. calculado según área disponible en ingenio 156
Figura 43. Medidas del tanque T.B. calculado según área disponible en ingenio 157
Figura 44. Esquema P&ID vista de planta completa 164
Figura 45. Esquema P&ID vista de elevación completa 165
Figura 46. Esquema P&ID vista de planta sección 1 166
Figura 47. Esquema P&ID vista de planta sección 2 167
Figura 48. Esquema P&ID vista de elevación sección 1 168
Figura 49. Esquema P&ID vista de elevación sección 2 169
Figura 50. Esquema vista de planta sección 1 170
Figura 51. Esquema vista de planta sección 2 171
Figura 52. Esquema vista elevación sección 1 172
Figura 53. Esquema vista elevación sección 2 173
Figura 54. Esquema de torre de enfriamiento 174
Figura 55. Propuesta de recirculación de efluentes de agua de enfriamiento y purgado 178
Figura 56. Propuesta de recirculación de efluentes al tanque recolector. 179
Figura 57. Distribución de descarga de bomba a tubería de agua caliente que retorna a torre 180
Figura 58. Distribución de descarga de bomba a tubería de agua caliente que retorna a torre 181
Figura 59. Dimensiones del tanque recolector para efluentes de calderas y cogeneración 182
Figura 60. P&ID de circuito de bombeo de tanque receptor de efluentes. 183
Figura 61. Propuesta de recirculación vía aérea, P&ID 187
Figura 62. Acercamiento de la propuesta de recirculación vía aérea, P&ID 188
Figura 63. Acercamiento de propuesta de recirculación con acotamiento de tuberías 188
Figura 64. Esquema de propuesta de recirculación 1 con acotamiento de tuberías 189
Figura 65. Fotografías del análisis de grasas y aceites 274
Figura 66. Distribución del caudal en cada equipo, durante los tres días de medición 284
Figura 67. Esquema del sistema subterráneo de tuberías (tándem A) 285
Figura 68. Esquema del sistema subterráneo de tuberías (tándem B) 286
Figura 69. Diagrama de Hoover-Langelier 319
Figura 70. Curva característica de bomba centrifuga 1 349
Figura 71. Carta psicométrica utilizada para determinar la temperatura de bulbo húmedo 351
Figura 72. Datos obtenidos con carta psicométrica a partir de la T bulbo seco y HR% 351
Figura 73.Curva para condición mínima 352
Figura 74. Curva de operación para la torre de enfriamiento 354
Figura 75. Área bajo la curva 356
Figura 76. Capacidad de nozzle 358
Figura 77. Cobertura para el nozzle 1-B 359
Figura 78. Diagrama de distribución del agua del tanque elevado a fábrica 387
Figura 79. Resultados obtenidos para el análisis de grasas y aceites 388
Figura 80. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2. 461
Figura 81. Sistema en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2. 461
Figura 82. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7. 462

Figura 83. Sistema en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7. 462
Figura 84. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 5 y 6. 463
Figura 85. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 5 y 6 463
Figura 86. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a las calderas 5 y 6 464
Figura 87. Sistema actual para la bomba de inyección de agua 2 a calderas 4 y 7. 464
Figura 88. Sistema en serie para la bomba de inyección de agua 2 a calderas 4 y 7. 465
Figura 89. Esquema de los equipos dentro del área de calderas y cogeneración del ingenio 466
Figura 90. Esquema de puntos de enfriamiento y purgado por equipo en calderas 467
Figura 91. Distribución de efluentes de enfriamiento y purgado por canales en calderas 468
Figura 92. Medición de nivel para el área de calderas y cogeneración del ingenio 469
Figura 93. Diagrama de bloques que representa las entradas y salidas de agua 470
Figura 94. Vista general del primer nivel en el área del tándem “A” 500
Figura 95. Propuesta de recirculación vía aérea, P&ID 501
Figura 96. Plano propuesta de recirculación 1 con acotamiento de tuberías 502
Figura 97. Propuesta de recirculación 2 vía subterránea, P&ID 503
Figura 98. Propuesta de recirculación 2 vía subterránea, acotamiento 504
Figura 99. Ejemplo de resultado obtenido para análisis de grasas y aceites 511
Figura 100. Curva característica para una bomba centrífuga 3x4-8 515
Figura 101. Pérdidas por fricción para flujo turbulento causados por válvulas y accesorios 547
Figura 102. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data 548
Figura 103. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.) 549
Figura 104. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.) 550
Figura 105. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.) 551
Figura 106. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.) 552
Figura 107. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data 553
Figura 108. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data (cont.) 554
Figura 109. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data (cont.) 555
Figura 110. Pérdidas por fricción por contracciones y expansiones Cameron Hydraulic Data 556
Figura 111. Cotización de las bombas centrífugas 568
Figura 112. Especificaciones de las bombas 569
Figura 113. Especificaciones de las bombas (cont.) 570
Figura 114. Especificaciones de las bombas (cont.) 571
Figura 115. Especificaciones de las bombas (cont.) 572
Figura 116. Especificaciones de las bombas (cont.) 573
Figura 117. Especificaciones de las bombas (cont.) 574
Figura 118. Especificaciones de las bombas (cont.) 575
Figura 119. Especificaciones de las bombas (cont). 576
Figura 120. Especificaciones de las bombas (cont.) 577
Figura 121. Ficha técnica anticorrosivo 578
Figura 122. Ficha técnica anticorrosivo (cont.) 579
Figura 123. Ficha técnica anticorrosivo (cont.) 580
Figura 124. Ficha técnica anticorrosivo (cont.) 581

Figura 125. Ficha técnica Macropoxy 582
Figura 126. Ficha técnica Macropoxy (cont.) 583
Figura 127. Ficha técnica Macropoxy (cont.) 584
Figura 128. Ficha técnica Macropoxy (cont.) 585
Figura 129. Ficha técnica esmalte de poliuretano 586
Figura 130. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.) 587
Figura 131. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.) 588
Figura 132. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.) 589
Figura 133. Cotización Sherwin Williams 590
Figura 134. Cotización Sherwin Williams (Cont.) 591
Figura 135. Parámetros para el tipo de empaque de torres de enfriamiento 604
Figura 136. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero 605
Figura 137. Valores de rugosidad para diferentes materiales 606
Figura 138. Pérdida de fricción en accesorios y tuberías 606
Figura 139 Dimensiones para tubería y aspersores de torre de enfriamiento 607
Figura 140. Presión de vapor del agua líquida entre 0°C y 373°C 607
Figura 141. Bomba centrífuga para utilizar en el circuito de recirculación del tándem “A” 608
Figura 142. Especificaciones bomba propuesta aérea 609
Figura 143. Especificaciones bomba propuesta subterránea 609

RESUMEN

El presente megaproyecto tuvo como objetivo evaluar y proponer la recirculación de efluentes de equipos de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero, con el fin de reducir el consumo de agua fresca en la planta de producción. Actualmente, los sistemas evaluados utilizan agua proveniente de pozos y de un río aledaño al ingenio, en un sistema abierto. Para evaluar si esta agua ya usada cumple con características que permitan su recirculación, se determinó la temperatura, caudal, pH, conductividad, dureza, sólidos suspendidos, grasas y aceites y salinidad de los efluentes de cada área. Estos resultados fueron comparados con límites de calidad de agua para torres de enfriamiento para determinar si los efluentes podían ser integrados al sistema propuesto. Para el área de fábrica, molinos y patio de caña, se diseñó un trayecto de tuberías y bombas desde el punto de descarga de los efluentes hasta un tanque recolector en la planta, utilizando como referencia el sistema de tuberías actual del ingenio. Para el área de calderas y cogeneración, se consideró también el sistema de canales existentes y pendientes en el terreno para el transporte del agua. Además, se determinó los parámetros de diseño de la torre de enfriamiento y los tanques requeridos en el sistema. Por último, se determinó la inversión en tuberías, equipos y accesorios, la cual fue de Q. 2, 243,674.38 y el costo de operación y mantenimiento, que se estima en Q. 197,489.77 para cada período de zafra. Se recomienda monitorear temperaturas del agua de enfriamiento y propiedades físicas y químicas de los efluentes para asegurar el buen funcionamiento de los sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales de mayor importancia dentro de los procesos industriales, tanto de forma directa, al formar parte en la limpieza de la materia prima y elaboración del producto final, como de forma indirecta, para la operación de los equipos y sistemas auxiliares. Sin embargo, al ser limitada, es importante realizar propuestas para su mejor gestión dentro de las empresas, sobre todo en las industrias donde su consumo es elevado, como en la producción del azúcar, la cual es parte fundamental para el desarrollo y economía del país, en donde se utiliza el recurso en el cultivo y a nivel industrial.

Con el objetivo de reducir y realizar una mejor gestión del agua, se desarrolló el presente trabajo en un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala, durante el período de zafra entre los años 2017 a 2018. Este consiste en la caracterización fisicoquímica de los efluentes de agua de uso indirecto, primordialmente para enfriamiento, en los distintos equipos seleccionados dentro de las áreas de fábrica, tándems de molinos, patio de caña, calderas y cogeneración. Con ello se propuso, dimensionó y realizó el estimado de la inversión para un circuito de recirculación que permitiría aprovechar nuevamente el recurso.

La propuesta se realizó considerando aspectos técnicos, como la distribución de las tuberías en áreas y espacios disponibles, así como la calidad de los efluentes respecto del abastecimiento de agua y condiciones de operación de los equipos para determinar si cumplen con los requisitos para su recirculación. Por otra parte, se evaluaron aspectos económicos para la selección del circuito que representaron el menor costo de inversión entre distintas alternativas, en especial lo que respecta al trayecto de las tuberías y dimensionamiento de las bombas centrífugas.

Se consideraron dos circuitos de recirculación, el primero abarcaría los efluentes de las áreas de fábrica, tándems de molinos y patio de caña, para los cuales se propuso regresarlo hacia el tanque elevado de fábrica tras su paso en una torre de enfriamiento propuesta. El segundo circuito abarcaría los efluentes de las áreas de calderas y cogeneración. Se propuso su recirculación hacia una torre de enfriamiento ya existente para uso dentro del sistema.

En la primera sección de este reporte se presenta la base teórica e información consultada para la comprensión de los términos de los parámetros del agua y los procedimientos para la selección de una bomba, la estimación de la inversión y costos de operación y mantenimiento de un proyecto mediante factores provistos por la literatura. En la siguiente sección se discute el alcance del proyecto, seguido por la metodología empleada para la caracterización de los efluentes, medición de caudal, medición de nivel, propuesta de recirculación, selección de la bomba, y la inversión del módulo. Por último, se presentan las conclusiones principales y se hacen las recomendaciones pertinentes de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Proponer la recirculación de efluentes de equipos de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero, a partir de la evaluación del flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas, con el fin de reducir el consumo de agua.

B. Objetivos específicos

- Proponer la recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero, a partir de la evaluación del flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas, con el fin de reducir el consumo de agua.

- Evaluar y proponer la recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero

- Evaluar y proponer la recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento de patio de caña en un ingenio azucarero, a partir de la evaluación del flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas, con el fin de reducir el consumo de agua.

- Proponer la recirculación de efluentes de hidrolavadora, turbogenerador y sistemas de enfriamiento de fábrica en un ingenio azucarero, a partir de la evaluación del flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas, con el fin de reducir el consumo de agua.

- Evaluar la factibilidad para la recirculación de los efluentes de agua provenientes de purgado y enfriamiento de los equipos de las áreas de calderas y cogeneración de un ingenio azucarero, con un análisis fisicoquímico de los flujos y para reducir su consumo.

- Proponer la recirculacón de efluentes de enfriamiento de chumaceras y reductores del tándem "A" de molinos, a partir de la evaluación del flujo volumétrico y propiedades fisicoquímicas, con el fin de reducir el consumo de agua.

- Evaluar con equipo de medición el flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza total, sólidos suspendidos, grasas y aceites y salinidad de efluentes de agua de enfriamiento en el Tándem B de molinos, bajo condiciones normales de operación para definir un sistema que permita su recirculación.

- Diseñar una propuesta de recirculación para el agua de enfriamiento de chumaceras, reductores y sistema hidráulico en el Tándem B de molinos, tomando en cuenta los parámetros físicos y químicos de los efluentes para reducir el consumo de agua.

- Determinar la dureza, pH, conductividad, salinidad, sólidos suspendidos y flujos de operación de la mezcla de efluente de agua de enfriamiento de fábrica, patio de caña y molinos tándem A en la entrada y salida de la torre de enfriamiento, para dimensionar el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento a los equipos de molinos tándem B y para comprobar que los parámetros del agua cumplan con los requerimientos del agua de una torre de enfriamiento.

- Determinar la inversión inicial del sistema propuesto en este módulo, cotizando los equipos, tuberías y accesorios que conforman dicho sistema, para realizar una estimación de los costos de operación y mantenimiento del sistema de recirculación propuesto.

- Evaluar con equipo de medición el flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza, sólidos suspendidos, grasas y aceites y salinidad de los efluentes del agua de enfriamiento en patio de caña, bajo condiciones normales de operación, para definir un sistema que permita su recirculación.

- Proponer un sistema de recirculación para el agua de enfriamiento de reductores y rodamientos de pre-cuchillas, picadoras, desfibradoras, troceadoras y viradores del patio de caña, considerando el análisis de los parámetros físicos y químicos del agua en el sistema, para reducir el consumo de agua de pozos y Río Provincias en el ingenio.

- Determinar las medidas y especificaciones del tanque de almacenamiento de agua requerido en el sistema de recirculación general, utilizando un estándar de tanques de acero para agua, para recolectar los efluentes de patio de caña, molinos y fábrica.

- Determinar la inversión de materiales, equipos y accesorios del sistema propuesto en este módulo, estableciendo su precio con la información proporcionada por proveedores, para utilizar la información en evaluaciones de rentabilidad.

- Evaluar con equipo de medición el flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza total, salinidad, grasas y aceites, turbidez, polarimetría y sólidos suspendidos de los efluentes de fábrica para definir el sistema de recirculación.

- Proponer un sistema de recirculación de los efluentes de hidrolavadora, turbogenerador y sistemas de enfriamiento de bombas de vacío, bombas centrifugas, bombas de transferencia y meladura, cristalizadores de masa tercera, centrifuga modelo G8, para disminuir el consumo de agua de pozos y río, con un sistema de tuberías, bombas y tanques.

- Determinar la inversión de materiales, equipos y accesorios del sistema de recirculación propuesto para fábrica consultando su precio con proveedores para establecer la inversión del sistema general.

- Determinar los parámetros de diseño de la torre de enfriamiento requerida para el sistema de recirculación de agua propuesto en molinos, patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración, utilizando las condiciones meteorológicas del departamento de Escuintla del periodo de zafra 2017-2018.

- Determinar el caudal, temperatura, densidad, viscosidad, pH, conductividad, salinidad, dureza, sólidos suspendidos y la presencia de grasas y aceites en los efluentes de agua de enfriamiento de bombas, ventiladores inducidos, unidades hidráulicas y eyector del turbogenerador TRONA, y efluentes de purgado de torres de enfriamiento del bloque I y II y planta desmineralizadora de las áreas de calderas y cogeneración bajo condiciones normales de operación y cuya fuente de agua es el río Provincia y pozos del ingenio, para evaluar las condiciones del agua.

- Diseñar la recirculación de los efluentes de agua de enfriamiento de bombas, ventiladores inducidos, unidades hidráulicas, eyector del turbogenerador y las purgas de torres de enfriamiento y planta desmineralizadora, considerando las variables físicas y químicas del agua, para mejorar la gestión del recurso al reducir el consumo de las fuentes de agua disponibles.

- Cuantificar los costos de inversión del circuito propuesto de recirculación de los efluentes de agua en los equipos analizados dentro de las áreas de calderas y cogeneración mediante cotizaciones del material y equipo requerido con distintos proveedores nacionales y extranjeros.

- Evaluar con equipo de medición el flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza total, salinidad, grasas y aceites y sólidos suspendidos de los efluentes del tándem “A” de molinos para definir un sistema que permita su recirculación.

- Proponer un sistema de recirculación de efluentes de chumaceras y reductores de alta, media, baja y planetarios del tándem “A” de molinos para disminuir el consumo de agua de pozos y de río, con un sistema de tuberías y bombas.

- Determinar la inversión por compra de tuberías, accesorios y equipo, junto con los costos de mantenimiento del sistema propuesto en este módulo para evaluar la factibilidad de este.

- Determinar la inversión y costos de operación de equipos requeridos para el sistema propuesto en todos los módulos del megaproyecto, para considerar la implementación de la propuesta.

III. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso de gran importancia para los distintos procesos industriales y agrícolas que se desarrollan en el país, abarcando un 75% del total de las extracciones que se realizan según datos de la (FAO, 2015). En la actualidad, se cuenta con un suministro suficiente para cubrir la demanda, aunque este escenario es propenso a cambios en el futuro debido a las irregularidades climáticas, consecuencia del cambio climático, que generan una distribución desigual del agua de lluvia y la reducción de zonas de recarga hídrica, lo que, a su vez, conlleva a una mayor explotación de las fuentes disponibles. Sumado a esto, en Guatemala no se dispone de una normativa que regule el uso y extracción del recurso de las fuentes disponibles, por lo que, en la mayoría de las industrias, no se realiza una gestión adecuada respecto a su manejo.

La industria del azúcar depende en gran medida del abastecimiento de agua para su uso directo en la elaboración del producto e indirectamente para el enfriamiento de equipos, limpieza en ciertas operaciones y áreas, entre otros. El ingenio estudiado se abastece mayoritariamente de un río cercano y de pozos internos. Durante el período de zafra evaluado, comprendido entre los años 2017 y 2018, y para uso indirecto en los equipos de las diferentes áreas evaluadas en el proyecto, se registró un consumo promedio del río de 5,315 m^3/día, mientras que de pozos fue de 9,332 m^3/día, lo cual representa un total de 14,652 m^3/día, de la cual, la mayoría comprende su uso en el enfriamiento de distintos equipos.

Considerando que los efluentes de enfriamiento y purgado en los equipos evaluados son descartados y no se realiza una gestión adecuada posterior a su uso, es importante proponer y promover sistemas de recirculación que logren reducir el consumo de agua en la industria. Con esto se puede mejorar el rendimiento y disminuir los costos relacionados a la extracción de las fuentes, además de desempeñar un papel social y ambiental responsable mediante una mejor gestión y uso del recurso. Al reducir y mejorar el uso del agua en el ingenio, se dispondrá también de una medida que permita evitar problemáticas ante una potencial escasez o nuevas legislaciones que regulen su extracción y manejo.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Características fisicoquímicas del agua

1. Clasificación

a. Agua corrosiva

La cual es capaz de disolver metales y atacar la superficie de tuberías y equipos metálicos por medio de reacciones electroquímicas. La corrosión se puede favorecer con la velocidad y temperatura de operación. (Pancorbo, 2010).

b. Agua agresiva

Esta es capaz de disolver incrustaciones de cal. Esto dependerá de la concentración de dióxido de carbono en el agua, favoreciéndose a temperaturas bajas de operación. Este tipo de agua no contribuye significativamente al proceso de corrosión. (Pancorbo, 2010).

c. Agua incrustante

Es el agua que por su composición forma incrustaciones de sales en las paredes de los equipos. (Pancorbo, 2010)

2. Parámetros del agua.

Un análisis de agua debe tomar en cuenta los siguientes factores químicos y físicos para realizar una evaluación del tipo de agua:

a. Dureza

Esta es una medida de sales alcalino-terreas presentes en el agua. Sin embargo, se expresa en concentración de carbonatos de calcio y magnesio, siendo estas las que normalmente se encuentran con mayor abundancia. Dependiendo de las condiciones de operación, estas sales pueden precipitar y adherirse a las superficies de tuberías y equipos. (IDEA, 2015).

b. pH

Este es un indicador de la concentración de iones hidrógeno. Esto se puede usar como una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Un bajo pH favorece la corrosión en tuberías y equipos, mientras que un valor alto favorece la incrustación de sales. (IDEA, 2015)

c. Conductividad

Es una medida indirecta de las sales disueltas en el agua. La capacidad que posee el agua de conducir electricidad se debe a la presencia de sales disueltas. (IDEA, 2015).

d. Sólidos suspendidos

Son partículas cargadas negativamente que se mantienen en suspensión y no precipita. (IDEA, 2015)

e. Hierro

Este puede provocar depósitos en los equipos al oxidarse y favorece el crecimiento de bacterias en el agua. (IDEA, 2015).

f. Sílice

Este compuesto se encuentra en forma de ion y en estado coloidal. Puede formar incrustaciones en los equipos si se operan altas temperaturas.

g. Alcalinidad

Es el contenido de sales alcalinas como bicarbonatos, carbonatos hidratos y fosfatos alcalinos. Generalmente la concentración de estas sales es menor a la concentración de la dureza total. (IDEA, 2015)

3. Factores que favorecen la corrosión.

Entre los distintos factores se encuentran:

a. pH

Si el agua posee un pH menor a 7 se favorece la corrosión de los metales. (Pancorbo, 2010).

b. Sales disueltas

La presencia de cloruros, nitratos, sulfatos y otras sales provocan corrosión. (Pancorbo, 2010).

c. Velocidad de operación

Puede existir un desgaste mecánico, siendo este una corrosión por erosión. (Pancorbo, 2010)

d. Oxígeno disuelto

Los metales reaccionan con el oxígeno disuelto del agua y forman óxidos. Este fenómeno es más frecuente a elevadas temperaturas o a bajas concentraciones en circuitos de baja temperatura. (Pancorbo, 2010)

e. Mezcla de metales

Esto provoca una corrosión galvánica donde los metales y el fluido se convierten en un conjunto de micro-pilas electroquímicas. Se forma una zona aniónica y una catódica siendo la zona aniónica la afectada en estos casos. Aunque exista un aislamiento entre los metales, pueden existir partículas que se desprendan de un metal y se depositen en otro, provocando la oxidación del metal. (Pancorbo, 2010)

4. Agua superficial y subterránea

El agua superficial arrastra sólidos, y todo contaminante que se descargue en el cuerpo receptor (ríos, lagos, etc.). Por otra parte, posee una mayor cantidad de oxígeno disuelto, y al estar expuesto a la luz del sol favorece el crecimiento de microorganismos y animales. Las características del agua varían según las condiciones climáticas, y de las condiciones del terreno que la rodea. Al llover aumenta la cantidad de sólidos totales en el agua, y aumenta la cantidad de agua disponible. Durante el verano disminuye la disposición de este recurso y sus características cambian con respecto al invierno. (General Electric Company, 2012)

El agua al filtrarse por la tierra y llegar a las fuentes subterráneas, pasa disolviendo varias sales minerales. Esto pasa por las distintas capas que posee la tierra. Esto provoca un aumento en la concentración de la salinidad del agua. Sin embargo, posee una menor carga biológica y estabilidad en sus características ante los cambios climáticos. Dependiendo del pH del agua que se filtra, esta puede disolver fuentes de calcio y magnesio y aumentar la dureza del agua. (General Electric Company, 2012)

Cuadro 1. Diferencias entre el agua superficial y subterránea

Aspecto	Agua subterránea	Agua superficial
Volúmenes de almacenamiento	Muy grandes	Pequeños a moderados
Velocidades de flujo	Muy bajas	Moderadas a altas
Tiempo de residencia	Décadas a siglos	Semanas a meses
Propensión a la sequía	Generalmente baja	Generalmente alta
Pérdidas por evaporación	Bajas	Altas
Calidad de agua	Generalmente alta	Variable
Vulnerabilidad a la contaminación	Protección natural variable	Sin protección

Tomado de: (Collazo, 2012)

B. Industria del azúcar en Guatemala

La agroindustria del azúcar en el país se ubica como el tercer exportador más grande de Latinoamérica después de Brasil y Cuba, y como uno de los ocho mayores exportadores a nivel mundial. En la economía del país, la actividad de este tipo representa un 3% del producto interno bruto (PIB), 19.4% del valor de producción agrícolas y 23% del total de divisas generadas, siendo superada por el café. La producción de azúcar también es una fuente importante de empleos. En la actualidad hay 17 ingenios en el país, la mayoría ubicados en las costas del pacífico en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y Santa Rosa (Pérez & Pratt, 1997).

1. Identificación de la empresa

El ingenio en estudio se encuentra ubicado en la Finca Cerritos, a 65 km al sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla. Cuenta con más de 49 años de experiencia y hoy en día es uno de los líderes de la agroindustria azucarera guatemalteca. Se dedican principalmente a la producción de caña de azúcar, elaboración de azúcar y generación de energía eléctrica, también comercializa subproductos como la melaza, el bagazo y la cachaza (Estrada, 2010).

Actualmente cuenta con una capacidad de molienda de 19,000 ton/día con lo cual producen alrededor de 5, 000,000 quintales de azúcar. Esto es posible debido a los equipos de alta tecnología con los que cuenta instalados (Estrada, 2010).

C. Utilización del agua en la industria azucarera

La producción de azúcar en un ingenio conlleva la utilización de grandes cantidades de agua. El uso en agua depende de diversos factores, entre ellos se encentra la disponibilidad, calidad y temperatura. En general, se pueden mencionar las siguientes categorías: uso del agua vinculada directamente con el proceso, uso del agua vinculada indirectamente con el proceso y uso de agua no vinculada al proceso productivo. Los ingenios azucareros se encuentran localizados normalmente cerca de un río, ya que esta es una de sus principales fuentes de abastecimiento de agua. Además, se puede obtener agua de pozos, para aplicaciones que requieren agua de mejor calidad. (Valero, 2016)

1. Sistemas de circulación de agua

Un sistema de circulación de agua suministra agua de enfriamiento para la remoción de calor en diferentes equipos. Dependiendo de la disponibilidad del agua, pueden instalarse diferentes tipos de sistemas. Estos son: sistemas de una sola vez, y sistemas cerrados. (Gupta, 2012)

Los sistemas de una sola vez se abastecen de agua de ríos, o lagos. El agua es filtrada para eliminar partículas sólidas, y es descartada al salir de los intercambiadores o equipos. Esta se descarga en la misma fuente a una distancia que no permita la recirculación de agua caliente. Por otra parte, en los sistemas cerrados la misma agua está recirculando en el sistema. El calor se disipa en torres de enfriamiento, y las pérdidas generadas por evaporación son compensadas con agua fresca. (Gupta, 2012)

2. Calentamiento

Muchas de las operaciones dentro de la industria requieren energía en forma de calor para muchos de sus procesos. El uso de agua para la producción de vapor a presión, temperatura y velocidad relativamente altas a partir de la combustión de un combustible para proveer de calor a dichas áreas consiste en uno de los mayores usos del recurso (Páez Chávez, 2008).

3. Enfriamiento

Muchos de los equipos y sistemas dentro de una fábrica requieren algún sistema de enfriamiento para evitar su sobrecalentamiento y potenciales daños asociados. El agua extraída de fuentes naturales permite abastecer a los sistemas de enfriamiento. Su uso puede ser reducido considerablemente al implementar una torre de enfriamiento. En estos sistemas, la temperatura a la cual se puede enfriar el agua se limita por la temperatura de bulbo húmedo del aire empleado para la evaporación. La temperatura del agua recirculada será generalmente mayor a la fuente original (Páez Chávez, 2008).

4. Materia prima

En gran diversidad de industrias se utiliza el agua como materia prima dentro de sus operaciones, ya sea para tratamiento de la materia prima o como componente principal dentro de la misma. Los usos son varios en una industria azucarera, desde preparación de agentes floculantes, lavado de la caña, etc. (Páez Chávez, 2008).

5. Transporte

Las corrientes de agua dentro de las tuberías o canales dentro de la fábrica pueden ser aprovechadas para el transporte de materiales entre distintas áreas de la planta (Páez Chávez, 2008).

6. Lavado

El lavado de los equipos con agua se emplea para asegurar la limpieza y mantenimiento de estos, así como cuestiones de seguridad, mantener la calidad del producto y evitar contratiempos durante la producción (Páez Chávez, 2008).

7. Generación de energía

Además del vapor de agua para el aprovechamiento del calor, este también se puede emplear para generar energía en unidades generadoras. Por lo general, las industrias que producen el vapor para generar energía presentan mayores pérdidas del recurso que una estación generadora especializada, por lo que el consumo de agua de reemplazo es mayor en las primeras (Páez Chávez, 2008).

D. Equipos utilizados en patio de caña

1. Equipos para la preparación de la caña.

En el proceso de preparación de la caña, el tamaño de la caña se reduce hasta que esté en condiciones de ingresar al área de molinos. Además, se inicia la partición de células portadoras de azúcar, lo cual simplifica el proceso de extracción posterior. Esta etapa involucra el uso de niveladores, picadoras y desfibradoras, y se estima que puede representar más del 25% de la demanda total de potencia en una fábrica. Por lo tanto, la eficiencia con la cual operan los equipos es muy importante. (Rein, 2012)

a. Viradores de camiones

Los viradores se utilizan para voltear los vagones de caña, de manera en que la caña recién cosechada pueda descargarse. El vagón se asegura en una plataforma de descarga para que el virador pueda voltearlo, generalmente lateralmente. El mecanismo es accionado por un sistema hidráulico, el cual permite virar el vagón hasta un ángulo de aproximadamente 42º. (Rein, 2012)

b. Niveladores

Los niveladores consisten en cuchillas que se utilizan para obtener un nivel uniforme de caña sobre el conductor principal, que transporta la caña hacia los equipos posteriores. Permiten regularizar la carga de caña para reducir el riesgo de atoramientos en el resto de los equipos. Los niveladores operan a velocidades bajas, comparado con las picadoras y desfibradoras, y sus requerimientos de potencia también son bajos. (Rein, 2012).

c. Picadoras de caña

Por lo general, el proceso de preparación utiliza dos picadoras, las cuales utilizan cuchillas rectas o curveadas. En las fábricas donde se utilizan solamente picadoras, es común contar con dos juegos de cuchillas rotativas. Las picadoras no logran aportar el grado de preparación que proporciona una desfibradora, ya que únicamente reducen el tamaño de la caña en trozos más pequeños, sin romper una gran cantidad de células. (Rein, 2012)

El rotor de las picadoras consiste en un eje sobre el cual se montan más de 20 brazos soportes de cuchillas. Las cuchillas se fijan en los extremos de cada brazo, de forma escalonada y angular a lo largo del eje. Las picadoras pueden accionarse utilizando motores eléctricos o turbinas de vapor, utilizando transmisiones reductoras para trabajar a velocidades de 400 a 700 min-1. (Rein, 2012)

d. Desfibradoras

Las desfibradoras utilizan martillos basculantes acoplados a un rotor, el cual funciona a velocidades entre 1000 y 1200 min-1, utilizando una transmisión reductora. El impacto de los martillos permite la desintegración de los pedazos de caña. Esta subdivisión y rompimiento de las células portadoras de azúcar culmina la preparación para el proceso de extracción. (Rein, 2012)

Los cojinetes de la desfibradora son especialmente críticos en instalaciones de trabajo pesado, con altas velocidades y cargas. Por lo general, se utilizan rodamientos de rodillos esféricos lubricados con aceite. (Rein, 2012).

2. Rodamientos

Los rodamientos son cojinetes con elementos rodantes, como bolas o rodillos. Estos son colocados entre la rodadura de dos anillos, permitiendo un movimiento relativo por rotación. (Hernández, 2002). Son diseñados para soportar cargas radiales, cargas axiales o una combinación de ambas. En general, los rodamientos están formados por dos anillos, los elementos rodantes y una jaula. (SKF, 2015)

La lubricación de los rodamientos es esencial para evitar el contacto directo entre el metal de los elementos rodantes, los caminos de rodadura, las jaulas y otros componentes. Esto impide la fricción y desgaste del equipo y protege las superficies del rodamiento contra la corrosión. El lubricante utilizado puede ser una grasa, un aceite o un lubricante sólido. (SKF, 2015)

a. Uso de grasa

En algunos casos se prefiere utilizar una grasa debido a que es retenida con mayor facilidad en el rodamiento. Además, protege el rodamiento de contaminantes y humedad. Algunas desventajas del uso de

grasa es que esta no tiene efecto refrigerante y su velocidad límite está entre el 65% y el 80% de la de la lubricación por aceite. (NSK, s.f.)

b. Uso de aceite

Se prefiere utilizar aceite cuando las altas velocidades o temperaturas de funcionamiento no permiten el uso de grasa, o cuando es necesario eliminar el calor excesivo del rodamiento, utilizando un circuito de lubricación. (SKF, 2015)

c. Uso de lubricación sólida

Es apropiado cuando las condiciones de operación originan un desgaste reducido de la capa de lubricante. Si se utilizan lubricantes sólidos en forma de pastas o polvo, se puede requerir re-lubricación. (FAG, s.f.)

Los circuitos de lubricación con aceite se utilizan para operaciones de alta velocidad que requieren el enfriamiento de los rodamientos. En estos circuitos el aceite entra por un costado del rodamiento, lo atraviesa y sale por el otro lado. Después de enfriarse en un depósito o intercambiador, regresa al rodamiento a través de una bomba y un filtro. (NSK, s.f.) Debido al envejecimiento, acumulación de contaminantes y al resultado de trabajo mecánico, el lubricante puede perder sus propiedades conforme el tiempo. Por lo tanto, es necesario renovarlo, filtrarlo o cambiarlo de forma regular. (SKF, 2015)

3. Reductores

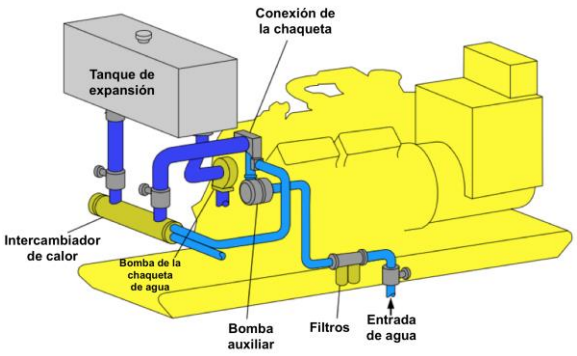
Los reductores son equipos de transmisión mecánica que sirven para reducir la velocidad de operación de un generador eléctrico. Los motores eléctricos, por ejemplo, tienen salidas de velocidad que deben reducirse para poder utilizarlas al régimen de la máquina que se desea emplear. (Jiménez, 2013)

El rozamiento entre las transmisiones y los equipos es determinante para el rendimiento del reductor. Para evitar esta fricción y calentamiento, se requiere de una adecuada lubricación del reductor. (Jiménez, 2013).

4. Sistemas de enfriamiento de lubricantes

La mayoría de los motores requiere de un sistema de enfriamiento para el aceite de lubricación. La función principal de estos sistemas es remover la cantidad adecuada de calor del lubricante, para asegurar que el motor opere a la temperatura correcta. Para esto, se pueden utilizar intercambiadores de calor que utilicen agua, aire o algún otro refrigerante. (Caterpillar, s.f.)

Figura 1. Sistema de enfriamiento con intercambiador de calor



Tomado de: (Caterpillar, s.f.)

El sistema regula la temperatura del motor mediante la transferencia de calor entre el lubricante y el refrigerante. La rapidez con la que se da esta transferencia es determinada por varios factores, como la diferencia de temperatura entre el refrigerante y el lubricante, el flujo de refrigerante utilizado y la presión en el sistema. (Caterpillar, s.f.)

E. Equipos utilizados en molinos

La extracción de jugo de caña de azúcar se realiza por medio de la aplicación de grandes cargas a la caña. Estas cargas se aplican por medio de rodillos, denominados mazas. Un molino convencional consta de tres mazas, las cuales están en un arreglo triangular. La maza ubicada a la entrada de la caña se le llama como maza cañera; la maza ubicada a la salida de la caña molida se le llama como maza bagacera; la maza ubicada en la parte superior del arreglo se llama maza superior. Esta última es la que aplica y mantiene la carga a la caña para extraer el jugo. Por otra parte, puede haber una maza adicional que se llama cuarta maza, y esta facilita la alimentación de la caña al molino. (Rein, 2012)

Las mazas constan de un eje de acero, montados sobre la estructura del molino. Estos se apoyan por medio de cojinetes de bronce (chumaceras). El apoyo de la maza cañera y maza bagacera no permite la movilidad de estas, por lo que se mantienen fijas durante la operación. El apoyo de la maza superior le permite desplazarse verticalmente, lo que ayuda a moler mayores cantidades de caña. Este movimiento se le llama flotación, y es esto lo que permite el ingreso de suciedad a la chumacera (jugo de caña con partículas). Esta suciedad puede dañar a la chumacera, ya que actúa como material abrasivo. (Rein, 2012)

Durante el proceso de molienda es necesario mantener la carga aplicada a la caña, para poder extraer la mayor cantidad de jugo. Esto se logra por medio de dos cilindros hidráulico, que se ubican sobre las chumaceras de la maza superior. Las altas cargas y el desgaste provocan sobrecalentamientos de las

chumaceras. Al mismo tiempo, se reduce el funcionamiento del lubricante y se acelera el desgaste de las piezas. (Rein, 2012)

1. Chumaceras

Las chumaceras de los molinos son fabricadas completamente de bronce o de una aleación diferente. Una aleación común posee un 84% de cobre, 10% de estaño, 3% de plomo y otro 3% de zinc. Se utiliza agua como refrigerante en las chumaceras. Esta pasa a través de las chumaceras y sale sobre bandejas abiertas para poder controlar sus temperaturas. (Rein, 2012)

La presión que soporta una chumacera de bronce puede variar dependiendo del diseño y el tipo de lubricación que se le proporcione. Normalmente estas pueden soportar presiones entre 9 – 11 MPa. El lubricante utilizado para las chumaceras debe ser de una alta viscosidad, debe soportar altas presiones y presentar buenas características de flujo. (Rein, 2012)

Por otra parte, se puede utilizar rodamientos como una alternativa del uso de chumaceras. Estos presentan las ventajas de utilizar menos lubricante, no requieren de agua de refrigeración, baja la fricción con el eje, entre otros. Sin embargo, estos no se pueden reparar una vez reciban algún tipo de daño, es difícil evitar la contaminación con jugo de caña si se implementan en molinos convencionales. (Rein, 2012)

2. Transmisiones

Debido a las altas velocidades de operación de los accionamientos de los molinos, se necesita de transmisiones de engranajes que reduzcan la velocidad. Debido a la limitación de la reducción de los engranajes convencionales, es necesario combinar engranajes de alta y baja velocidad. Los de alta velocidad son engranajes cilíndricos helicoidales, los cuales se encierran en una carcasa. Esto reduce las áreas de contacto, por lo que es necesario una lubricación adecuada. Los lubricantes utilizados son de alta viscosidad o se utilizan grasas suaves. (Rein, 2012)

La tendencia de transmisiones ha ido cambiando y se ha optado por utilizar engranajes epicíclicos y planetarios. Estas poseen una alta precisión, mayores eficiencias mecánicas y altas razones de reducción. Por otra parte, se requiere de un mantenimiento riguroso, y control continuo del lubricante. (Rein, 2012)

F. Uso del agua de enfriamiento en fábrica

1. Cristalización por enfriamiento

La cristalización en un tacho al vacío continua hasta alanzar un punto en el que una posterior cristalización produzca que una masa cocida no pueda ser descargada del tacho. La masa cocida que abandona el tacho se encuentra supersaturada y caliente, en el rango de 63 a 70°C. En este punto el contenido de cristales es alto, pero aún se puede lograr un agotamiento adicional al enfriar la masa conocida antes de la operación de centrifugación. Mediante el enfriamiento se produce una cristalización adicional, para ello es importante que se suministre la cantidad correcta de agua hacia los elementos enfriadores y a la temperatura precisa. Generalmente un flujo de agua a contracorriente con el flujo de masa cocida es el método más eficiente de enfriamiento. (Rein, 2012)

Es importante considerar que la filtración de cualquier agua de enfriamiento del cristalizador hacia la masa cocida puede afectar la cristalización. Es por ello, que se debe suministrar agua limpia de buena calidad para el enfriamiento, esto reduce la posibilidad de corrosión en los elementos de enfriamiento. Normalmente esto requiere un pequeño sistema de enfriamiento dedicado a enfriar los cristales.

La diferencia de temperatura entre el agua y la masa cocida no debe ser muy alta, ya que puede ocurrir un congelamiento de masa cosida sobre los elementos. El arreglo ideal incluye una instalación para controlar la temperatura de agua de enfriamiento, la cual tenga la capacidad de controlar la temperatura de salida desde los cristalizadores. Esto se logra desviando agua de retorno de los cristalizadores hacia las torres de enfriamiento para elevar la temperatura del agua de retorno. (Rein, 2012)

2. Lubricación de cojinetes con agua

Los cojinetes de las bombas pueden presentar problemas cuando existe un sobrecalentamiento que indica una lubricación inapropiada o desgaste. La finalidad principal de la lubricación es reducir la fricción y el desgaste en el interior de los rodamientos para evitar fallos. La lubricación convencional puede sustituirse por agua a presión. Este cambio permite eliminar el riesgo de fugas de aceite. Los cojinetes lubricados por agua requieren de un caudal mínimo con cierto grado de calidad para uso como lubricante. (OTSA, 2012) Adicional al sobrecalentamiento se pueden generar problemas cuando se enfrían demasiado los cojinetes con agua, ya que se produce condensación oxidante en la caja de los cojinetes. (OTSA, 2012)

3. Agua para lavados

El agua es un fluido adecuado para el lavado general de equipos industriales. El lavado de equipos industriales es importante para su mantenimiento, resguardo de la calidad del producto, y para evitar contratiempos en la producción. (Ayala, 2012)

a. Limpieza de bandas transportadoras de cachaza

En el proceso de filtración se busca recuperar el azúcar de la cachaza, para ello, se le agrega bagacillo, cal y floculante. Posterior a este proceso, la cachaza es transportada hacia filtros de banda o rotativos al vacío, en esta etapa se busca separar los sólidos del jugo resultante.

En los filtros se aplica agua calienta para minimizar la cantidad de sacarosa presente en la cachaza. Luego del proceso de filtración, la torta de cachaza sale de los filtros y se conduce por bandas transportadoras a tolvas para recogerla en vagones, pesarla y enviarla al campo para que sea utilizada como estabilizador de suelos que carecen de materia orgánica. La torta de cachaza tiende a adherirse a las bandas transportadoras, para ello, se utiliza agua para lavar las bandas y evitar la acumulación de cachaza. (Ayala, 2012)

b. Limpieza de evaporadores

Conforme el tiempo de operación transcurre se presenta incrustación sobre la superficie interna de los tubos, debido a que los componentes del jugo se saturan y precipitan. Las incrustaciones incrementan la resistencia a la transferencia de calor, en consecuencia, la tasa de trasferencia de calor es mayor cuando los tubos están limpios que cuando se encuentran incrustados.

Existen diversos métodos para la remoción de incrustaciones. Existen métodos mecánicos y químicos, en muchas industrias productoras de azúcar la limpieza mecánica de los tubos es más económica que la limpieza química. Antes de iniciar la limpieza mecánica es necesario sacar de operación al evaporador y dejarlo enfriar. Para ello, se llena el cuerpo del evaporador con agua. Entre los métodos mecánicos se puede mencionar el que utiliza duchas de agua a alta presión. (Rein, 2012)

4. Otros usos

a. Bombas de vacío de anillo líquido

Son bombas tipo volumétricas rotativas que cuentan con impulsores de estrella, los cuales requieren de una aportación externa de líquido auxiliar para formar el anillo líquido y para evacuar el calor de compresión. Las bombas de vacío de anillo líquido suelen emplear agua como líquido de servicio, aunque

pueden utilizar otros líquidos si las condiciones del proceso lo requieren. El disco impulsor de paletas gira excéntricamente en el interior de la cámara, la cámara se llena de agua hasta su eje para que el impulsor quede parcialmente sumergido. Por medio de la fuerza centrífuga el impulsor crea el anillo líquido. El gas se dirige a los espacios creados entre las paletas y el anillo líquido, la posición excéntrica del impulsor el volumen entre los espacios es variado y da como resultado la aspiración del gas, su compresión y descarga. El grado de vacío alcanzado varía en función de la energía que es suministrada al líquido por la velocidad del rotor y las características del líquido empleado. (Rojas, et al, 2010)

Las bombas de vacío de anillo líquido deben ser alimentadas por un líquido limpio y sin partículas sólidas en suspensión. La temperatura del fluido debe ser como máximo de 80°C y la del gas aspirado de unos 100°C; la densidad del líquido debe estar en el rango de 800 a 1200 g/d^3 y la viscosidad deberá ser inferior a 40 cSt. (Pompetravaini, s.f)

Recuperación total del líquido de servicio: Mediante este sistema se busca una total recirculación del líquido de servicio sin ningún tipo de aportación exterior. Es necesario un intercambio de calor para estabilizar la temperatura del líquido recirculado. Una bomba de recirculación es instalada normalmente cuando la bomba de vacío funciona durante períodos prolongados con presiones de aspiración superiores a los 500/600 mbar o cuando la pérdida de carga del circuito de retorno es elevada por el intercambiador de calor. (Rojas, et al, 2010)

G. Área de calderas en un ingenio azucarero

1. Generalidades de los generadores de vapor

La fibra de la caña que se obtiene como subproducto del proceso de molienda, denominada bagazo, es suficiente como para ser empleada como combustible sólido en las calderas de generación de vapor hacia el proceso o turbinas. Con un contenido de fibra de entre 12 y 14 por ciento, una fábrica en buenas condiciones operación tiene un exceso de bagazo o vapor, el cual puede ser empleado para propósitos como irrigación por bombeo, suministro al proceso en área secundarios, vapor para la destilería, suministro de energía eléctrica a la red nacional, entre otros (Hugot, 1986).

Las calderas son equipos de importancia en la industria azucarera porque proveen de la energía térmica para el proceso, potencia para accionar los equipos principales, auxiliares y maquinaria, así como para generar y suministrar energía a la red pública (Alderetes, 2016).

Las fábricas de producción de azúcar operan de forma termodinámica bajo el ciclo de Rankine con vapor sobrecalentado y con turbina de contrapresión, de las cuales el vapor de escape a la salida de las turbinas es empleado para proporcionar energía térmica al proceso, en donde los equipos actúan como condensadores a presión (Alderetes, 2016).

El vapor el producido mediante calderas acuotubulares de circulación natural, en el cual los gases de combustión circulan por el exterior de los tubos por donde la mezcla agua-vapor circula, transfiriendo calor entre fluidos a través de los tubos (Alderetes, 2016).

2. Partes de un generador de vapor

Según lo descrito por (Alderetes, 2016), un generador de vapor es un sistema constituido por una caldera de vapor y uno o algunos de los equipos de transferencia de calor o sistemas auxiliares:

a. Caldera

Sistema en el que se genera vapor a una presión superior a la atmosférica y mediante el intercambio de calor con los gases de combustión.

b. Hogar

Es la ubicación en donde ocurre el proceso de combustión dentro de la caldera.

c. Sobre calentador

Es el equipo que eleva la temperatura del vapor saturado en la caldera a presión constante, volviéndolo un vapor sobre saturado.

d. Desobrecalentador

Equipos que reduce y adecua la temperatura del vapor sobre calentado.

e. Economizador

Es el sistema encargado de elevar la temperatura del agua de alimentación a las calderas al aprovechar parte de la energía de los gases de combustión. Puede estar ubicado previo o posterior al calentador de aire.

f. Calentador de aire

Equipo que precalienta el aire de combustión previo a entrar en el hogar y aprovechando la energía de los gases de combustión. Se puede ubicar previo o posterior al economizador.

g. Equipos auxiliares

Son los equipos que tienen como función el movimiento del aire, gases y las cenizas de la combustión, así como el suministro de agua de alimentación y combustible.

3. Clasificación de las calderas

A continuación, se presenta una clasificación presentada por (Alderetes, 2016):

Con base en la tecnología de combustión:

a. Calderas convencionales con combustión suspendida o semi suspendida sobre grillas horizontales o inclinadas, fijas o móviles.

b. Calderas de lecho fluidizado tipo BFBC o CFBC.

Con base en la producción de vapor:

a. Baja capacidad: Con una generación de vapor ≤ 100 ton/h.
b. Media capacidad: Con una generación de vapor entre 150 y 250 ton/h.
c. Alta capacidad: Con una generación de vapor entre 250 y 400 ton/h.

Con base en la presión de trabajo:

a. Baja presión: Trabajan a una presión total de 25 bar.
b. Media presión: Trabajan a una presión total entre 30 y 70 bar.
c. Alta presión: Trabajan a una presión entre 80 y 150 bar.

Con base en la forma de soporte:

a. Colgante
b. Soportada en la base.

Con base en la separación agua-vapor:

a. Un solo domo: son más modernos y son especialmente diseñadas para operar a alta presión, lo cual presenta dificultades en las de dos domos.
b. Dos domos.

4. Calidad del agua de alimentación a las calderas

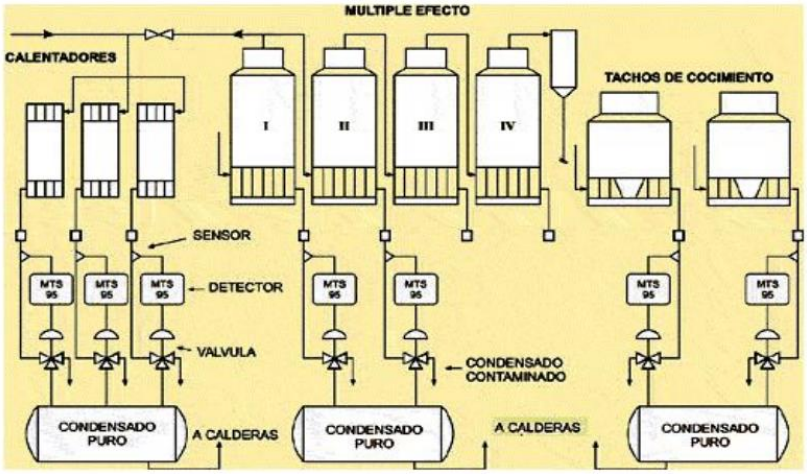
La provisión de para las calderas se compone de una mezcla de condensados recuperados del proceso y agua tratada de reposición (agua de make up). La recuperación de condensados es vital para la economía térmica de la fábrica porque repercute en la temperatura del agua de alimentación y el consumo de

combustible. De los condensados que se recuperan, el 75 a 85 por ciento provienen de equipos que consumen vapor de escape, como calentadores de jugo, evaporación y cocimiento (Alderetes, 2016).

Debido a que la proporción de condensador no es constante debido a las variaciones en la molienda y demanda de vapor. Por ello, es indispensable que se tenga una planta de tratamiento de agua adecuadamente dimensionada para atender estas variaciones en el agua de alimentación como agua de reposición. Por lo general, la temperatura del agua de alimentación ronda los 90 a 120 °C (Alderetes, 2016).

La recuperación de condensados del proceso es importante porque disminuye el consumo de agua de las calderas, lo cual influye en aspectos económico y ambientales (Alderetes, 2016).

Figura 2. Esquema de recuperación de condensados en procesos de fábrica de un ingenio



(Alderetes, 2016)

5. Parámetros fisicoquímicos en el agua de calderas

El agua en las calderas y demás equipos de transferencia de calor es un tema vital porque cualquier obstrucción que pueda ocurrir con el paso del fluido puede provocar altas temperaturas en las paredes de las calderas ocasionando su ruptura, reducción en la transferencia de calor, entre otros factores (Alderetes, 2016).

Por ello, es importante evaluar los contaminantes del agua, los cuales se pueden dividir en cuatro tipos básicos:

a. Partícula

Estas pueden ser arenilla u otro material particulado que genere turbidez o abrasión con el flujo. Puede estar acompañada con el agua desde su extracción en forma sedimentable o en suspensión como turbidez, aparecer por desgaste en tuberías y equipos, o en forma coloidal (Alderetes, 2016).

b. Compuestos inorgánicos disueltos

Estos pueden ser iones de calcio, magnesio, silicatos, cloruros y nitratos, o pueden ser gases disueltos como dióxido de carbono. Estos contribuyen a la dureza, acides, salinidad, entre otros parámetros del agua (Alderetes, 2016).

c. Compuestos orgánicos disueltos

Pueden incluir lo que son azúcares, hidrocarburos, restos vegetales, entro otros (Alderetes, 2016).

d. Microorganismos

Estos pueden ser bacterias, hongos, virus, entre otros (Alderetes, 2016).

De acuerdo con la concentración de estos contaminantes, puede ocurrir desgaste, corrosión, incrustaciones, depósitos y otros problemas que afecten la vida útil de los equipos y limiten la transferencia de calor, lo cual incrementa el consumo de combustible en las calderas, o bien, agua de enfriamiento en los condensadores que forman parte del circuito de las torres de enfriamiento (Alderetes, 2016).

Cuadro 2. Efectos de impurezas sobre los equipos de intercambio de calor en fábrica

Efectos de impurezas sobre los equipos de intercambio de calor y en los procesos de fábrica de un ingenio azucarero.

Impureza	Problemas		
	corrosión	depósitos	arrastre
Calcio / magnesio		●	
Carbonatos	●	●	
Bicarbonatos	●	●	
Sílice		●	volatilización
Sólidos disueltos			●
Sólidos suspensión		●	●
Materia orgánica		●	●
hierro	●	●	

(Alderetes, 2016)

Cuadro 3. Clasificación del agua en función de su grado de dureza

Clasificación del agua en función de su grado de dureza expresada como partes por millón (ppm) de CaCO3

Tipo	Grado dureza (ºF)	Grado dureza (mg/l)
Muy blanda	1 a 5	10 a 59
Blanda	6 a 10	60 a 109
Escasamente blanda	11 a 15	110 a 159
Dureza media	16 a 29	160 a 299
Dura	30 a 45	300 a 450
Muy dura	56 a 80	560 a 800
Extremadamente dura	A partir de 80	A partir de 800

(Mola Morales & Antúnez Soria, 2018).

6. Tratamiento de agua

El agua de alimentación a las calderas se compone de condensador y agua de reposición. La mezcla debe cumplir con las especificaciones del fabricante y la norma de construcción del equipo (ASME) y ser sometida a procesos de adecuación o tratamiento (Alderetes, 2016).

Los condensados de fábrica provenientes de vapor de escape y de los evaporadores son agua de buena calidad, aunque siempre debe analizarse para evaluar las condiciones y ser sometidas a una adecuación si es necesario en caso de contener contaminantes. El pulido consiste en una filtración y eliminación de la dureza por una resina de intercambio iónico. Se debe llevar control de las variables de pH, dureza, materia orgánica, sílice, hierro, cobre y amoníaco (Alderetes, 2016).

En el caso del agua de reposición (make up), según la fuente y calidad del agua, se debe proponer procesos específicos para la función en que se desean emplear. Es recomendable realizar un tratamiento del agua de alimentación como un proceso externo a la caldera, lo cual conllevas las etapas de captación, tratamiento, almacenaje y alimentación (Alderetes, 2016).

Según (Alderetes, 2016), a partir de la operación de los equipos, se puede optar por alguno de los siguientes tratamientos:

a. Decantación o filtración
b. Ablandamiento
c. Ósmosis Inversa
d. Intercambio iónico (aniónico, catiónico y de lecho mixto)
e. Des carbonatación
f. Desgasificación térmica.

El pH se mantiene dentro de los límites al emplear distintos productos alcalinos, seleccionando el más adecuado según la forma de operación del equipo. El compuesto más empleado es la soda cáustica (Alderetes, 2016).

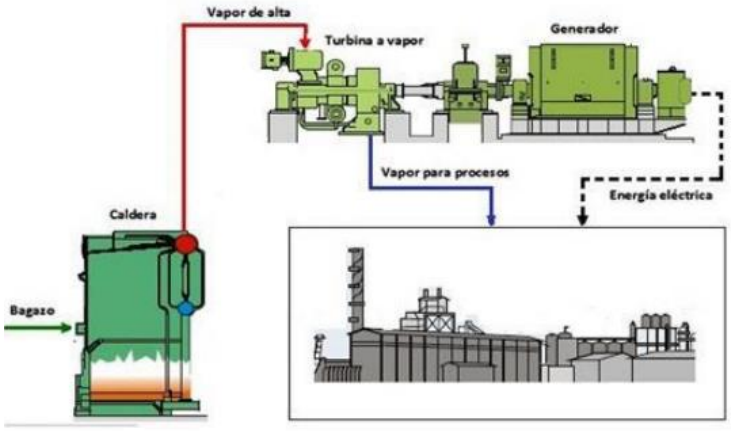
H. Área de cogeneración en un ingenio azucarero

Existen un creciente interés por la cogeneración en la industria, lo cual ha llevado al desarrollo de calderas de mayor capacidad y eficiencia que trabajen con altas presiones y temperaturas, así como la implementación de mejores prácticas operacionales y de mantenimiento que se sostienen hasta el momento con calderas tradicionales de baja presión y eficiencia. Según el país, la industria azucarera aporta alrededor del 5 por ciento o más de la energía total requerida a nivel nacional, lo cual representa un gran ahorro en el

consumo de combustible fósiles no renovables si se emplea el bagazo residual como combustible para cogenerar (Alderetes, 2016).

Se define la cogeneración como la producción secuencial de dos formas de energía útil, generalmente energía térmica y fuerza motriz, a partir de una misma fuente primaria o combustible. Cuando la secuencia de producción es energía eléctrica – energía térmica, se denomina un ciclo Topping, mientras que, cuando la secuencia es inversa, se denomina un ciclo Bottoming. El ciclo más usado en la industria azucarera es el Topping de generación de fuerza motriz – energía térmica (Alderetes, 2016).

Figura 3. Esquema general de un ciclo de cogeneración topping clásico.



(Alderetes, 2016).

De forma aproximada, solo alrededor del 6 por ciento de la energía térmica del bagazo se convierte en energía eléctrica, el 65 por ciento se emplea en operaciones de transferencia de calor y el 29 por ciento restante son pérdidas en el proceso. Como el bagazo es un combustible de bajo costo y con potencial de generación de ingresos, se han desarrollado optimizaciones energéticas con calderas de alta presión y temperatura, en conjunto con diseños más avanzados de turbinas, que permitan obtener la máxima generación (Alderetes, 2016).

Cuadro 4. Condiciones de operación de las calderas bajo un ciclo clásico y uno moderno.

Ciclo termico	Presion vapor - bar	Temp. Vapor °C	Produc.vapor ton/h
Tradicional	12 - 25	250 - 350	20 - 100
Cogenerador	45 - 150	450 - 580	150 - 400

(Alderetes, 2016)

Un turbogenerador es un equipo que transforma la energía cinética de un fluido en energía eléctrica de corriente alterna. Se encuentra compuesto por una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico y demás equipos secundarios, como transformadores, sistemas de lubricación, enfriamiento, etc. (Xiloj Cuin, 2015).

I. Fluidos no compresibles en tuberías

1. Número de Reynolds

Es un número adimensional que permite distinguir entre un flujo laminar y turbulento. La transición de un flujo laminar a uno turbulento ocurre en un amplio intervalo de número de Reynolds, aunque se puede establecer que el flujo es laminar cuando la magnitud del número de Reynolds es menor a 2100, mientras que para valores por encima de 4000 se considera un flujo turbulento, siendo la región de 2100 a 4000 la región de transición donde el flujo puede ser laminar o turbulento según las condiciones (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Se define como:

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{D}\,\bar{\mathrm{V}}\,\rho}{\mu} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

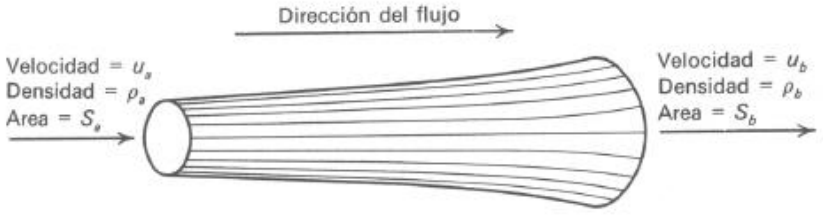
Donde:

Re es el número de Reynolds
D es el diámetro de la conducción
ρ es la densidad del fluido
μ es la viscosidad del fluido

2. Ecuación de continuidad

Esta ecuación establece que el flujo másico a través de una conducción es igual a la entrada y la salida, puesto que no hay acumulación, ingreso o escape de materia a través del tubo, es decir, el flujo es estacionario (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Figura 4. Representación de la continuidad a través de una conducción



(McCabe, Smith & Harriot, 2007)

$$\dot{m}_a = \dot{m}_b = \dot{m}_c \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

$\dot{m}_a$ es el flujo másico expresado en [masa/tiempo].

El flujo entra por la sección transversal S_a y sale por la sección S_b. La velocidad y densidad a la entrada son u_a y ρ_a respectivamente, y a la salida son u_b y ρ_b. Si se asume que la velocidad y la densidad son constantes a lo largo del trayecto, entonces se tiene lo descrito por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$\dot{m} = \rho_a u_a S_a = \rho_b u_b S_b \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde:

$\dot{m}$ es el flujo másico

ρ_a es la densidad del fluido

u_a es la velocidad del fluido

S_a es la sección transversal al flujo

Esta última es la ecuación de continuidad, y se aplica para el flujo de fluidos compresibles y no compresibles. Por supuesto, si la temperatura del fluido cambia considerablemente dentro del tubo, entonces no se puede asumir una densidad constante (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

3. Velocidad media

Si dentro de una tubería existe una capa límite que la hay esfuerzos cortantes, entonces la velocidad u_a variará de un punto a otro de la sección transversal S_a, ocurriendo lo mismo con el punto b. Entonces se hace la distinción entre una velocidad local u y una velocidad media $\overline{V}$ (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

A partir de (McCabe, Smith, & Harriot, 2007), se define la velocidad media como:

$$\overline{V} = \frac{\dot{m}}{\rho S} = \frac{q}{S} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde:

$\overline{V}$ es la velocidad media

$\dot{m}$ es el flujo másico

ρ_a es la densidad del fluido

S_a es la sección transversal al flujo

q es el caudal o flujo volumétrico

Esta velocidad media se puede sustituir por la velocidad puntual u de la ecuación de continuidad, obteniendo la ecuación descrita por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$\dot{m} = \rho_a \overline{V_a} S_a = \rho_b \overline{V_b} S_b = \rho \overline{V} S \quad \text{[Ecuación 5]}$$

4. Ecuación de Bernoulli

Esta ecuación expresa la conservación de trabajo, energía cinética y energía potencial gravitatoria aplicada a flujo de fluidos. Se establece que existe una relación entre la presión, velocidad lineal y altura en cualquier punto de un flujo estacionario unidireccional. Debido a que existe fricción en el trayecto del flujo, las condiciones iniciales y finales no son las mismas. La ecuación incluye un factor de corrección alfa que considera el esfuerzo cortante que ocurre en las capas límite. (McCabe, 2007)

Cuando se utiliza una bomba para aumentar la energía mecánica del fluido, la ecuación de Bernoulli toma en cuenta un trabajo de bomba expresado como Wp, multiplicado por la eficiencia que establece el fabricante. Con este término se obtiene la forma de la ecuación de Bernoulli utilizada para el diseño de sistemas hidráulicos. (McCabe, 2007)

$$\frac{\alpha \bar{V}_a{}^2}{2g} + \frac{P_a}{\rho g} + Z_a + \frac{\eta W_p}{g} = \frac{\alpha \bar{V}_b{}^2}{2g} + \frac{P_b}{\rho g} + Z_b + \frac{h_f}{g} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

g es la aceleración gravitatoria (m/s^2)

α es el factor de corrección

$\bar{V}$ es la velocidad lineal promedio (m/s)

P es la presión (Pa)

ρ es la densidad del fluido (kg/m^3)

W_p es el trabajo de bomba (J)

Z es la altura (m)

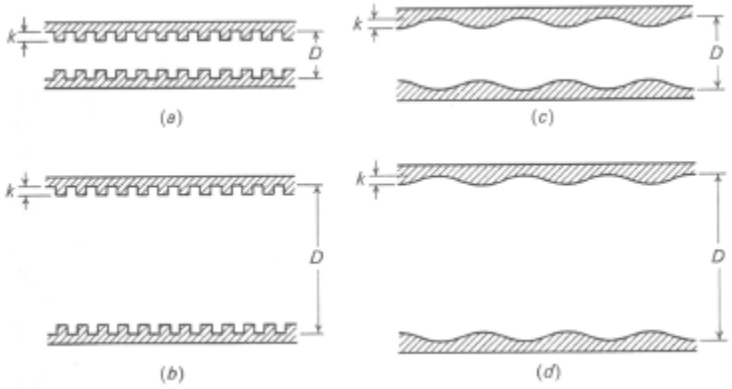
h_f son las pérdidas por fricción (J)

5. Efecto de la rugosidad en tuberías

El factor de fricción de Fanning se utiliza para el análisis del flujo turbulento. Este factor se define como la relación entre el esfuerzo cortante y el producto de la carga de velocidad por la densidad (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

En una tubería rugosa el factor de fricción es mayor que para una tubería lisa a un número de Reynolds dado. La altura individual de rugosidad se representa por la letra k y se denomina el parámetro de rugosidad. La rugosidad relativa es el cociente del parámetro de rugosidad y el diámetro de la tubería k/D (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Figura 5. Tipos idealizados de rugosidad en tuberías

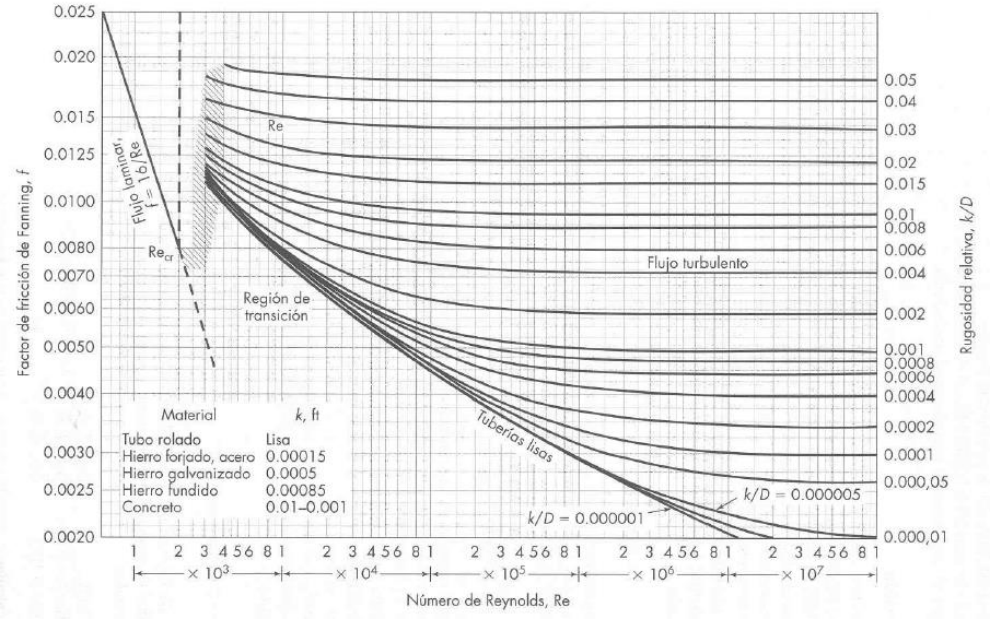


(McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Al analizar el factor de fricción de Fanning contra el número de Reynolds de forma gráfica, se obtiene que, para cada valor de rugosidad relativa, exista una familia diferente de curvas. Todas las tuberías comerciales, nuevas y limpias, poseen el mismo tipo de rugosidad característica. Por lo general, el valor de k sólo incide cuando se trabaja un flujo turbulento (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Por cuestiones de diseño y facilidad, las características de fricción en tuberías circulares lisas o rugosas, se resumen en la carta del factor de fricción de Fanning, la cual se presenta como sigue (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

Figura 6. Gráfica del factor de fricción para tuberías circulares.



(McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

6. Fricción debida a las variaciones de velocidad o dirección

Cuando varía la velocidad del fluido, ya sea en dirección o valor como consecuencia de un cambio en la dirección de flujo o tamaño de conducción, se produce una fricción adicional a la fricción de superficie debido a flujo en tuberías rectas. Esta fricción de forma se produce como consecuencia de la distorsión de las líneas de corriente normales y hay una separación de la capa límite. No se puede calcular de forma directa en la mayoría de los casos, por lo que se recurre a datos empíricos (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

A continuación, se presenta la forma de calcular las distintas pérdidas por fricción de forma en tuberías:

a. Pérdidas por fricción de superficie

Son las pérdidas causadas por efecto de la rugosidad interna de la tubería. Se calcula mediante la ecuación descrita por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$h_{fs} = 4f\frac{\Delta L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2\,g_c} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde:

h_{fs} son las pérdidas por fricción de superficie

f es el factor de fricción de Fanning

L es el largo de la tubería

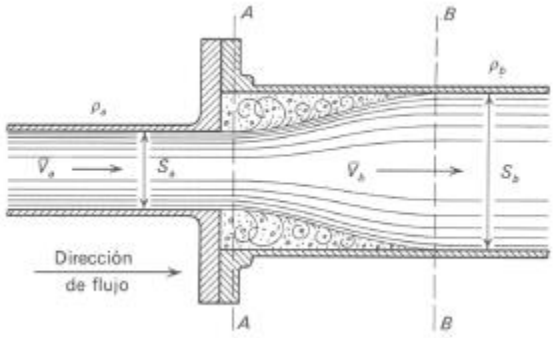
D es el diámetro de la tubería

$\bar{V}$ es la velocidad media en la sección estrecha

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

b. Pérdidas por fricción debido al ensanchamiento brusco de la sección transversal

Figura 7. Flujo en una expansión brusca de la sección transversal



(McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Las pérdidas de fricción por una expansión brusca son proporcionales a la carga de velocidad del fluido en la sección estrecha, por lo que según (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$h_{fe} = K_e \frac{\overline{V_a}^2}{2\, g_c} \text{ [Ecuación 8]}$$

Donde:

h_{fe} son las pérdidas por fricción debido al ensanchamiento

K_e es el coeficiente de pérdida por expansión

$\overline{V_a}$ es la velocidad media en la parte estrecha de la conducción.

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

$$K_e = \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2 \quad \text{[Ecuación 9]}$$

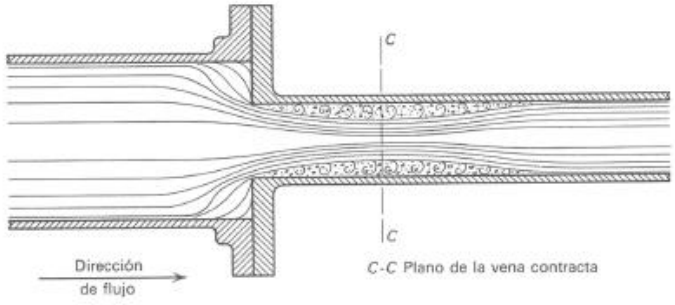
Donde:

S_a es el área de sección transversal en el punto estrecho de la conducción

S_b es el área de sección transversal en el punto amplio de la conducción.

c. Pérdidas por fricción debido a una contracción brusca

Figura 8. Flujo en una contracción brusca de la sección transversal



(McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Las pérdidas por fricción en una contracción son proporcionales a la carga de velocidad en la conducción estrecha, por lo que, según (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$h_{fc} = K_c \frac{\overline{V_b}^2}{2\, g_c} \text{ [Ecuación 10]}$$

Donde:

h_{fe} son las pérdidas por fricción debido a la contracción

K_c es el coeficiente de pérdida por contracción

$\overline{V_b}$ es la velocidad media en la sección estrecha

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

$$K_c = 0.4\left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right)$$ [Ecuación 11]

Donde:

S_a es el área de sección transversal en el punto estrecho de la conducción

S_b es el área de sección transversal en el punto amplio de la conducción.

De forma experimental, se tiene que para flujo laminar el valor de Kc es menor a 0.1 y la pérdida por este tipo de fricción es despreciable (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

d. Efecto de las válvulas y accesorios

Las válvulas y accesorios distorsionan el flujo y ocasionan fricción. Estas se pueden calcular a partir de la ecuación descrita por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$h_{ff} = K_f \frac{\overline{V_a}^2}{2\,g_c}$$ [Ecuación 12]

Donde:

h_{fe} son las pérdidas por fricción debido al efecto de válvulas y accesorios

K_f es el factor de pérdida para el accesorio

$\overline{V_b}$ es la velocidad media en la sección estrecha

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

El factor K_f se obtiene de forma experimentalmente y difiere en valor para cada tipo de accesorio. Existen tablas que establecen distintos valores para estos accesorios (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Cuadro 5. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios normalizados

Accesorio	K_f
Válvula de asiento, abierta completamente	10,0
Válvula de ángulo, abierta completamente	5,0
Válvula de compuerta, abierta completamente	0,2
Válvula de compuerta, semiabierta	5,6
Curvatura de 180°	2,2
Te	1,8
Codo de 90°	0,9
Codo de 45°	0,4

† Tomado de J. K. Vennard en el «Handbook of Fluid Dynamics» págs. 3-23, McGraw-Hill Book Company. Nueva York, 1961.

(McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

e. Pérdidas por fricción de forma en la ecuación de Bernoulli

La pérdida total por fricción combina las pérdidas por fricción de forma y por fricción de superficie bajo el término h_f de la ecuación de Bernoulli. De esta forma se obtiene la expresión descrita por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$h_f = \left(4f\frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f\right)\frac{\bar{V}^2}{2\,g_c} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Donde:

f es el factor de fricción de fanning

L es el largo de la tubería por donde circula el fluido

D es el diámetro de la tubería por donde circula el fluido

K_c es el factor de pérdida por contracción

K_f es el factor de pérdida por expansión

K_f es el factor de pérdida para el accesorio

$\bar{V}$ es la velocidad media en la sección estrecha

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

J. Diseño de sistema hidráulicos

1. Tuberías y tamaños más comunes en las industrias

En las diferentes industrias de procesos el material más frecuente para las tuberías es el hierro negro, el cual es acero de bajo contenido de carbono. También se suele emplear tuberías de hierro forjado, de fundición o acero galvanizado. Tanto las tuberías de hierro negro como galvanizado se encuentran estandarizadas, por lo que se conoce el tamaño, espesor de pared, diámetro nominal, entre otros aspectos (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Las tuberías se clasifican en función de su diámetro y espesor de pared. Independientemente del espesor de pared, el diámetro externo de todas las tuberías correspondiente a un diámetro nominal es igual (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Se fabrican tuberías de otros materiales con el mismo diámetro externo que las tuberías de acero para poder intercambiar las diversas partes de un sistema de conducción. Estas dimensiones normalizadas se denominan IPS (Iron Pipe Size) o NPS (Nominal Pipe Size) (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

El espesor de pared viene dado por el Número de Catálogo, cédula, chapa o norma, el cual aumenta con el espesor. Se tienen números de catálogo de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160, aunque los más comunes son 40, 80, 120 y 160, en especial en tuberías de 8 pulgadas de diámetro (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

2. Selección del tamaño de tubería

El tamaño óptimo de una tubería para cierta aplicación depende de los costos relativos de la instalación, la potencia, mantenimiento y las tuberías y accesorios de repuesto. Por lo general, en instalaciones pequeñas se realizan estimaciones con base en el criterio del ingeniero (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Un factor de comparación útil de intervalos normales de velocidad en tuberías se presenta a continuación; es importante que se mantengan estos rangos, sobre todo en tuberías donde se bombea un fluido para evitar mayores pérdidas por fricción (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Cuadro 6. Velocidad recomendada para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		pies/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5-1	0,15-0,30
	Entrada de bomba	1-3	0,3-0,9
	Salida de bomba	4-10	1,2-3
	Línea de conducción	4-8	1,2-2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2-0,5	0,06-0,15
	Salida de bomba	0,5-2	0,15-0,6
Vapor de agua		30-50	9-15
Aire o gas		30-100	9-30

(McCabe, Smith & Harriot, 2007)

3. Juntas y accesorios

Los métodos para unir tuberías dependen de las propiedades del material y el espesor de pared. Los productos tubulares de pared gruesa se conectan entre sí por medio de accesorios roscados, bridas o soldadura. En tuberías de diámetro mayor a 2 pulgadas es común encontrar el uso de bridas (flanges) o soldaduras; estas bridas se unen a la tubería por rosca o soldadura. A pesar de que la soldadura proporciona uniones más fuertes que los accesorios roscados, estas presentan la desventaja de que no puede abrirse o separarse sin destruir la tubería (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

La mayoría de tubería son sometidas a variaciones de temperatura, por lo que se generan contracciones y expansiones de la tubería. Si esta se encuentre fijada rígidamente a un soporte puede desprenderse, deformarse, curvarse o romperse. Por este motivo, en las conducciones largas no se usan soportes fijos, sino que se coloca sobre anillos o suspendida en cadenas o varillas (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

4. Válvulas

Existe una gran variedad de tipos de válvulas, todas estas tienen un propósito principal: disminuir o detener el flujo de un fluido. Algunas válvulas funcionan mejor en servicio de cerrado-abierto prendido-apagado, es decir, abiertas o cerradas completamente. Existen otro tipo de válvulas que permiten suprimir o reducir la presión y la velocidad de flujo de un fluido. Algunas otras que solo permiten el flujo de fluido en una sola dirección o bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, a continuación, se verán algunos de los tipos de válvulas que existen (McCabe, 2007):

a. Válvulas de compuerta y válvulas de globo

En una válvula de compuerta, el diámetro de la abertura a través de la cual pasa el fluido es casi el mismo que el diámetro de la tubería que lo transporta y la dirección del fluido no cambia. Cuando esta se opera completamente abierta, introduce sólo una pequeña caída de presión. A pesar de ello, no este tipo de válvulas no son recomendables para el control del flujo y, en general, se dejan abiertas o cerradas por completo. Las válvulas de globo se utilizan para controlar la velocidad de flujo de un fluido, debido al cambio de dirección provocado por la abertura limitada se da una mayor caída de presión (McCabe, 2007).

b. Válvulas de bola

Contiene un elemento de sello esférico, posee un área de contacto entre el elemento móvil y el sello grande, por lo que puede usarse como una válvula de regulación; una de sus principales aplicaciones es el control del flujo (McCabe, 2007).

c. Válvulas de retención

Estas solo permiten el flujo en una dirección, el paso se abre debido a la presión del fluido en una determinada dirección. Cuando el flujo se detiene o tiende a invertirse, entonces la válvula se cierra automáticamente por la gravedad o por medio de un resorte que hace presión de nuevo sobre el disco (McCabe, 2007).

5. Bombas

Las bombas incrementan la energía mecánica del fluido, aumentando su velocidad, presión o elevación. Las dos clases de bombas principales son las de desplazamiento positivo y las bombas centrifugas. Las bombas de desplazamiento positivo aplican presión directamente al líquido por medio de un pistón reciprocante o miembros rotatorios, formando cámaras vacías o llenas del líquido. Las bombas centrifugas aumentan la energía mecánica del líquido por acción centrifuga y se caracterizan por generar altas velocidad de rotación, es decir, convierten la energía cinética del líquido en energía de presión. Al incrementar la energía mecánica del fluido la densidad del líquido no cambia en forma apreciable, por ello, se considera constante. (McCabe *et al*., 2007)

El líquido penetra a través de la succión concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, conocido como impulsor. El impulsor se compone de álabes radiales, el líquido circula del centro hacia afuera, por el interior de los espacios existentes entre los alabes. El líquido que sale periféricamente del rodete se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta, y sale de la bomba por una conducción tangencial a la bomba. En la voluta, la carga de velocidad se convierte en carga de presión. (McCabe et al., 2007)

6. Altura de succión y cavitación

En general, la presión de succión de una bomba es irrelevante, ya sea si es inferior o superior a la presión atmosférica, siempre que el fluido permanezca en estado líquido. Sin embargo, si la presión de succión es ligeramente superior a la presión de vapor del líquido a esa temperatura, entonces una parte del líquido se vaporiza súbitamente dentro de la bomba y ocurre la cavitación, que reduce la capacidad de la bomba y provoca erosión. Entonces, si la presión de vapor es realmente menor que la presión de vapor del fluido líquido, entonces la cavitación ocurrirá en la línea y no entrará líquido a la bomba (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Para evitar la cavitación es necesario que la presión de entrada a la bomba supere la presión de vapor en cierta cantidad, esto es, la carga neta de succión positiva (NPSH), cuyo valor aumenta con la capacidad de la bomba, velocidad del rodete y presión de descarga. Su valor es de 1.5 a 3 metros para bombas centrífugas pequeñas de hasta 400 L/minuto, y 15 metros para bombas de gran tamaño (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Para el caso de una bomba que succiona desde un depósito, el valor del NPSH se obtiene mediante la expresión dada por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007):

$$\mathrm{NPSH} = \frac{g_c}{g}\left(\frac{p_a - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Donde:

NPSH es la cabeza neta de succión positiva

p_a es la presión absoluta en la superficie del depósito

p_v es la presión de vapor del líquido a cierta temperatura

h_{fs} es la fricción en la línea de succión

ρ es la densidad del líquido

Z_a es la altura del punto de análisis A con respecto de cierta referencia

g es la fuerza de gravedad

g_c es el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton

K. Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos que disipan el calor proveniente de una corriente de agua por intercambio de calor sensible o latente con una corriente de aire frío. Estos equipos son columnas de un gran diámetro con tipos de empaques especiales que brindan un buen contacto entre el líquido y el gas con una caída de presión baja. El agua caliente se distribuye sobre el empaque por medio de boquillas aspersores, el aire pasa a través del empaque por medio de un ventilador que puede ser de tiro forzado o inducido. (McCabe, 2007)

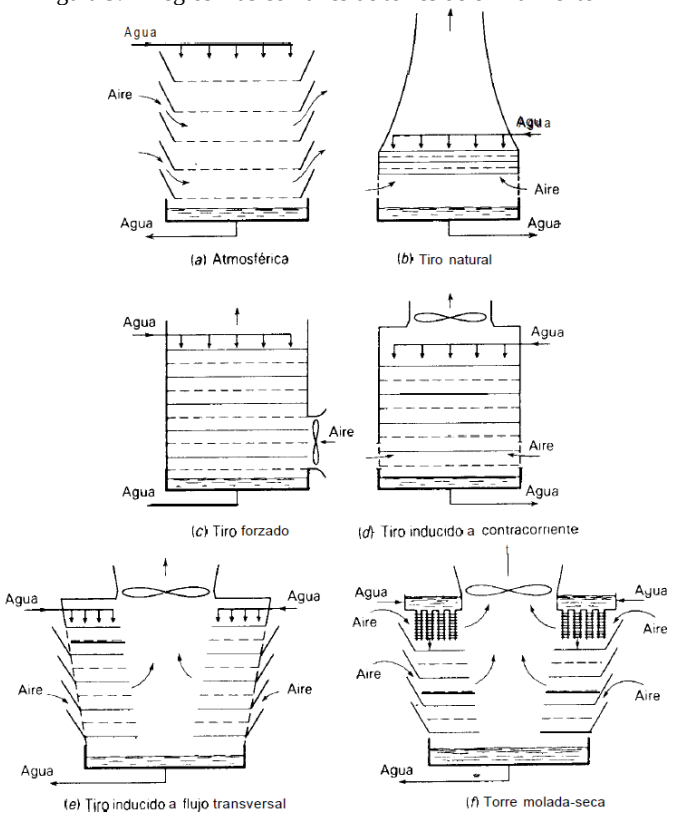
El proceso de transferencia de calor en las torres de enfriamiento implica la transferencia de calor latente, debido a la vaporización de una pequeña porción del agua, y la transferencia de calor sensible, debido a la diferencia en la temperatura del agua y el aire. Aproximadamente el 80 por ciento de esta transferencia de calor se debe al calor latente y el 20 por ciento al calor sensible. (Perry, 2008)

La remoción de calor por libra de aire circulante depende de la temperatura y el contenido de humedad del aire. Una indicación del contenido de humedad del aire es su temperatura de bulbo húmedo. Idealmente la temperatura del bulbo húmedo es la temperatura teórica más baja a la que se puede enfriar el agua. Prácticamente, la temperatura del agua fría se aproxima, pero no es igual a la temperatura del bulbo húmedo del aire; debido a que es imposible que toda el agua se ponga en contacto con aire fresco a medida que el agua cae a través de la superficie de relleno humedecida. Los factores importantes en el diseño de la torre son el tiempo de contacto aire-agua, la cantidad de superficie de relleno y la ruptura de agua en gotitas. (Perry, 2008)

La diferencia de temperatura del agua de salida y la temperatura de bulbo húmedo del aire se conoce como aproximación, está representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua. En la práctica es de 2.8 a 6 °C (5 a 10 °F). La aproximación es un factor importante para el desempeño de la torre. Una aproximación pequeña indica mayor eficiencia térmica, pero involucra un mayor costo y consumo de energía. (Perry, 2008)

1. Clasificación de las torres de enfriamiento

Figura 9. Arreglos más comunes de torres de enfriamiento



(Treybal, 1997)

De las torres de circulación natura (a y b), en las torres atmosféricas se depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire. El diseño de corriente natural asegura un movimiento más positivo del aire, al depender del desplazamiento del aire caliente dentro de la torre mediante el aire externo más frio. Es por ello, que se requieren chimeneas elevadas. Los dos tipos de torre (a y b) son altas, con el fin de trabajar a una pequeña aproximación a la temperatura de bulbo húmedo. El equipo de corriente natural se utiliza generalmente para lugares con bajas humedades, lugares en donde las temperaturas del aire son bajas y con mayor frecuencia en donde el costo de la energía es alto. (Treybal, 1997)

Las torres de tiro mecánico pueden ser del tipo de tiro forzado (Figura 9, c), en donde al aire se empuja en la torre mediante un ventilador en el fondo. Estas torres están sujetas particularmente a la recirculación de aire caliente y húmedo que se descarga, dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y esto reduce la efectividad de la torre. Las torres de tiro inducido casi siempre son a flujo a contracorriente. Este tipo de equipo puede llegar a tener mayor duración, ya que el ventilador trabaja aire frio y no saturado, el cual es menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida.

El tiro inducido, con el ventilador en la parte superior, evita la recirculación del aire caliente y permite una distribución interna más uniforme del aire. Este tipo de torre puede ser de flujo a contracorriente o de flujo cruzado. (Treybal, 1997)

En las torres a contracorriente, el aire entra por debajo del empaque y circula a contraflujo ascendente hacia el flujo de agua que desciende. Esta distribución proporciona una transferencia de calor más eficiente y permite una mayor aproximación de la temperatura. Se dice que las torres a contracorriente son intrínsecamente más eficientes, pero las torres a flujo cruzado son capaces de operar con menor requerimiento de potencia o con mayor velocidad de vapor. (McCabe, 2007)

2. Componentes de la torre de enfriamiento

a. Estructura

Es el soporte de la torre de enfriamiento. Su forma y solidez dependen de las características de diseño de la torre. Los materiales pueden ser metal, hormigón, madera, fibra de vidrio o una combinación de diferentes materiales. (Apaza, s.f)

b. Distribuidor de agua de entrada a la torre

El agua de entrada a la torre puede distribuirse por flujo gravitatorio o por presión. La distribución por gravedad usualmente se emplea en torres de flujo cruzado donde el agua se bombea a la parte superior de la torre hacia un recipiente desde donde fluye a través de orificios ubicados en el fondo. (Apaza, s.f)

La distribución por presión se efectúa por boquillas (spray nozzles) que atomizan el agua en vez de formar gotas, como se realiza en la distribución por gravedad. En esta forma el líquido ofrece mayor área de contacto efectivo al aire que circula. Esta distribución suministra uniformemente gran capacidad de flujo a un ángulo de cobertura seleccionado. (Apaza, s.f)

Para la selección de la boquilla adecuada y el espacio a tomar en cuenta en el diseño de tubería de distribución, existe una metodología proporcionada por Berentwood Industries, INC. Para ello, se toma en cuenta al área de la torre y el caudal a suministrar. A partir de este procedimiento se obtiene la cobertura de cada nozzle, el número de nozzles, los gpm/nozzle, el tamaño, la presión y la distancia del nozzle hacia el empaque. Berentwood Insustries proporciona gráficas con las que se obtienen los parámetros mencionados anteriormente.

c. Relleno de la torre

En relleno en las torres de enfriamiento se utiliza para proporcionar una superficie de intercambio lo más grande posible entre el agua y el aire. Además, el relleno o empaque permite retardar el tiempo de caída del agua, esto asegura una mayor duración en el proceso de intercambio de calor. (Apaza, s.f)

Los rellenos o empaques se definen por una ecuación característica que depende el material con que ese construye, su forma y la disposición geométrica. Conociendo estas ecuaciones características puede dimensionarse la torre. En el diseño de la torre, el tamaño o volumen de la torre y el costo depende del tipo de relleno utilizado. (Apaza, s.f)

Es importante que el relleno seleccionado para la torre presente poca resistencia al paso del aire y proporcione una distribución uniforme del agua y del aire. Los rellenos pueden clasificarse principalmente en rellenos de salpicadura y de película. Este tipo de rellenos pueden utilizarse en torres con configuraciones de flujo cruzado y contraflujo. (Apaza, s.f)

Relleno de goteo o salpicadura: El agua cae sobre una serie de niveles superpuestos de rejillas o barras de salpicadura. Al tener contacto con las rejillas el agua se fracciona en gotas más pequeñas. Este tipo de relleno fracciona el agua en pequeñas gotas, cuya superficie constituirá al área de intercambio de calor. Este tipo de relleno tiene un bajo rendimiento, promueve el arrastre de agua y la altura de relleno necesaria es superior a los sistemas laminares, para las mismas condiciones de operación. (Apaza, s.f)

Relleno laminar o de película: Distribuyen el agua en una fina película que fluye por una superficie, esta superficie proporciona la exposición de la película de agua a la corriente de aire. La película de agua debe ser delgada y cubrir la máxima superficie de relleno. Este tipo de relleno es el más utilizado debido a su mayor capacidad de superficie de exposición del agua dentro de un volumen dado, esto proporciona mayor capacidad de enfriamiento. Además, al no existir gotas, las pérdidas por arrastre son menores, por lo que permite velocidades mayores y disminuir la altura de relleno y con ello la altura de bombeo. A mismas condiciones de diseño una torre con relleno laminar será más compacta y pequeña que si fuese de goteo, esto reduce los costos de operación e inversión.

En este tipo de relleno una de las especificaciones más importante es el área de contacto por metro cubico de volumen de material m^2/m^3. Los rellenos tipo laminar son comúnmente fabricados de material PVC o polipropileno. El plástico es el material más adecuado porque puede adaptarse a cualquier forma geométrica, es ligero, no favorece la aparición ni proliferación de materia orgánica ni microorganismos y no sufre corrosión. (Apaza, s.f)

d. Separadores de gotas

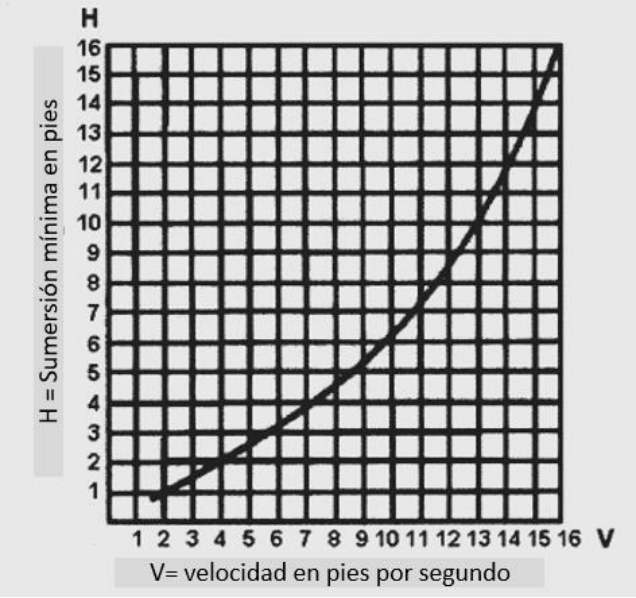
Son desviadores que se colocan de forma adecuada en la parte superior de la zona de empaque con el fin de minimizar pérdidas de pequeñas cantidades de agua no evaporada, que es arrastrada en forma de gotas por el aire que circula a través de la torre. Esto provoca una disminución de las pérdidas de agua y una homogenización del flujo de aire a la salida del relleno. (Apaza, s.f)

e. Colector de agua

El colector de agua es un tanque en el cual se colecta el agua enfriada que se reincorporara al circuito de recirculación. En el diseño de colectores de agua para torres de enfriamiento se debe tomar en cuenta no solo el dimensionamiento adecuado, sino los patrones de flujo y los niveles de operación en el colector. Un suminidero diseñado de forma incorrecta provoca problemas de bombeo, como tasas de flujo inconsistentes o bajas. Un dimensionamiento correcto del colector de agua proporciona el volumen suficiente para llenar el sistema de tuberías y mantener las conexiones de succión de la bomba lo suficientemente inundadas para evitar que la bomba absorba aire. (Dale, 2010)

La altura de la superficie del agua por encima de la parte superior de la línea de succión provee la altura mínima para el diseño del colector de agua (Figura 10). Para ello, se toma en cuenta la velocidad de agua al que opera la torre de enfriamiento y la tubería de succión de la bomba. (Dale, 2010)

Figura 10. Altura mínima para el colector de agua



(Dale, 2010)

f. Equipo de movimiento de aire

Para dirigir el aire al interior del relleno de la torre se utilizan ventiladores, los cuales pueden ser axiales o centrífugos. La ubicación del ventilador depende del diseño de la torre, en las torres de tiro forzado el ventilador se ubica en la parte baja; en cambio para tipo inducido el ventilador se coloca en la parte superior.

Al evaluar los costos de operación de la torre de enfriamiento, se requiere de la potencial del ventilador. Las cantidades del flujo de aire del ventilador dependen de los factores de diseño de la torre, como el tipo de relleno, configuración de la torre y las condiciones de rendimiento térmico. (Treybal, 1997)

3. Diseño de torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son diseñadas normalmente por proveedores. Es necesario tomar en cuenta diversos factores tales como el requerimiento de calor máximo y promedio, el intervalo de temperatura necesario, la disponibilidad y calidad del agua y las condiciones climáticas. La torre de enfriamiento se diseña para satisfacer las condiciones más extremas. (McCabe, 2007)

En la manufactura de las torres de enfriamiento el tamaño de la torre se encuentra en función de: el rango de enfriamiento, aproximación, temperatura de bulbo húmedo, flujo másico del agua a enfriar, velocidad del aire a través de la torre, altura de la torre. Otras características para tomar en cuenta en el diseño son: potencia del ventilador, potencia de la bomba, suministro de agua de makeup y eliminadores a la deriva. (Treybal, 1997)

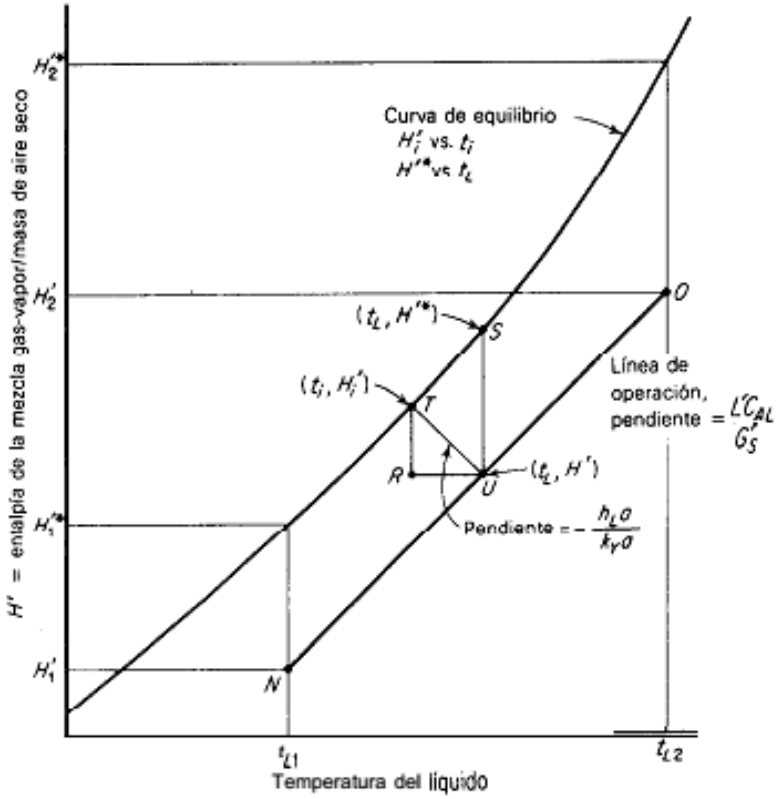
En el enfriamiento de agua con aire, el calor latente del agua es tan grande que una cantidad pequeña de evaporación produce grandes efectos de enfriamiento. Debido a que la transferencia de masa es pequeña, el nivel de temperatura es generalmente pequeño y la relación de Lewis se aplica al sistema aire-agua en forma razonablemente adecuada. Tomando en cuenta estas simplificaciones se tiene:

$$L'C_{AL}(t_{L2} - t_{L1}) = G'_s(H'_2 - H'_1) \text{ [Ecuación 15]}$$

Donde: L' es el flujo de entrada; C_{AL} es la capacidad calorífica del agua; G'_s es el flujo de gas seco; H'_2 y H'_1 son las entalpias del vapor de agua en la entrada y salida; T'_{L2} y T'_{L2} son las temperaturas del agua en la entrada y salida.

El balance de entalpía de la ecuación 15 puede representarse graficando la entalpía del gas H' contra t_L, como se muestra a continuación:

Figura 11. Diagrama de operación para equipos de enfriamiento de agua con aire



(Treybal, 1997)

La línea ON sobre la gráfica representa la ecuación X y pasa a través de los puntos que representan las condiciones finales de los dos fluidos. Como $L'_2 - L'_1$ es pequeña en comparación con L', la línea es recta con pendiente $\frac{L'C_{AL}}{G's}$. (Treybal, 1997) Para las condiciones de operación habrá siempre una pendiente mínima que corresponde a la velocidad mínima de aire que circula en la torre. Esta línea puede hallarse mediante la tangente de la curva de equilibrio. (Treybal, 1997)

Para torres de enfriamiento de tiro mecánico la relación L/G real tiene un valor entre 0.75 a 1.50, para obtener un valor entre este rango se trabaja con valores de 1.2 a 2.0 veces del valor mínimo para la pendiente (Perry, 2008).

Para determinar las condiciones de equilibrio y las propiedades del aire se utiliza la carta psicométrica. En este diagrama se ven representadas las propiedades de la mezcla aire-agua de forma gráfica. Mediante esta grafica se obtiene parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo como: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de roció, entalpia específica, calor sensible y volumen especifico del aire. (Treybal, 1997)

a. Teoría de Merkel

La teoría más aceptada sobre transferencia de calor en una torre de enfriamiento es la que desarrollo Merkel. Esta establece que la fuerza motriz es el diferencial entre las entalpias. La teoría de Merkel establece que cada partícula de agua está rodeada por una película de aire y que la diferencia de entalpía entre ellas proporciona el enfriamiento del agua. La siguiente ecuación expresa esta teoría:

$$\frac{K_a V}{L} = \int_{T2}^{T1} \frac{dT}{h' - h} \text{ [Ecuación 16]}$$

Donde:

K: Es el coeficiente de transferencia de materia; a: Área de contacto; V: Volumen útil de enfriamiento; L: Flujo másico de agua; h': Entalpía del aire saturado a la temperatura del agua; h: Entalpía de la corriente de aire; T1 y T2: Temperatura de entrada y salida de agua. (Perry, 2008)

Para un sistema de torres de enfriamiento se puede determinar $\frac{K_a V}{L}$ como un parámetro de diseño de la torre. El método más exacto para el dimensionamiento de una torre de enfriamiento implica ecuaciones que toman en cuenta las características del relleno. Estas ecuaciones son determinadas por los fabricantes de torres de enfriamiento, y aplican para torres específicas. El factor $\frac{K_a V}{L}$ depende de la relación de caudal del agua y aire, la geometría y dimensión del relleno, además de la temperatura del agua. (Mohiuddin & Kant, 1996)

Para el relleno tipo salpicadura y laminar, Lowe y Christie determinaron la siguiente ecuación característica:

$$\frac{K_a}{L} = \lambda \left(\frac{L}{G}\right)^{-m} \text{ [Ecuación 17]}$$

Donde λ y m son factores constantes relacionados al tipo de relleno. Los autores mencionados anteriormente proveen los valores para distintitos tipos de rellenos y estos se muestra en la Figura 29 (ver anexos página 143) (Mohiuddin & Kant, 1996)

Estos valores son aplicados para determinar la altura de una unidad de transferencia de entalpia del gas (H_{tOG}):

$$H_{tOG} = \frac{G'_s}{K_a} \text{[Ecuación 18]}$$

Donde: G'_s es el flujo de aire seco encontrado con el balance de entalpia (Ec. 18) y K_a se encuentra a partir del tipo de relleno utilizado para la torre de enfriamiento con la ecuación 20.

Para determinar la altura de empaque de la torre, se toma en cuenta la dificultad de la transferencia de calor en la torre, para ello, se utiliza el número de unidades de transferencia de calor del gas N_{tOG}, siendo el número de veces en que la fuerza motriz se divide entre el cambio de entalpia:

$$N_{tOG} = \int_{H'1}^{H'2} \frac{dH'}{H'^{*} - H'} = \frac{Z}{H_{tOG}} \text{[Ecuación 19]}$$

Z es la altura requerida del empaque, sin embargo, para el diseño de la torre de enfriamiento se considera la altura de los distribuidores de agua, el separador de gotas, el ventilador y el colector de agua fría. (Treybal, 1997)

b. Sección transversal de la torre

A partir de la velocidad y flujo requerido de aire en la torre, se puede determinar con la ecuación de continuidad la sección transversal de la torre. Mediante la ecuación:

$$A = \frac{Gv_s}{\mu} \text{ [Ecuación 20]}$$

Donde: G es el flujo másico de aire; v_s es el volumen específico del aire; μ es la velocidad de aire de saturación a la temperatura de bulbo húmedo.

La velocidad de aire recomendada en la torre según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado se encuentra entre 1.5 y 3.6 m/s. (Apaza, s.f)

c. Agua de makeup

Se debe de tomar en cuenta que el intercambio de calor latente representa un 80 a 100% de calor total refrigerado, mientras que el calor sensible representa el resto. Debido al calor latente, se logra transmitir cierta cantidad de agua al aire por evaporación. El caudal que es evaporado se calcula variando las humedades especificas en el caudal de aire, usualmente se estima que se debe utilizar 0.1% del caudal de agua de recirculación por cada 1°F. Debido a que se pierde caudal de agua de circulación, se necesita un caudal de reposición, conocido como make-up. (Apaza, s.f)

En el proceso de evaporación, se obtienen restos de sales y sólidos disueltos o suspendidos en el agua que permanece en la torre. Esto provoca un aumento en la concentración de sales en el agua de circulación, por lo que es necesario un caudal de purga y reposición para disminuir la concentración de compuestos y evitar problemas de corrosión, obstrucciones, depósitos o crecimiento microbiológico. (Apaza, s.f)

Otra perdida de agua son las gotas de agua que dejan la torre junto con el aire, este caudal de arrastre varía entre 0.001 y 0.3% del caudal de circulación.

Al unificar las pérdidas, el caudal de reposición se puede calcular como la suma del caudal de evaporación, la purga, el arrastre y las fugas.

$$W_m = W_e + W_d + W_b \text{ [Ecuación 21]}$$

Donde: W_m es el agua de makeup, W_d son las pérdidas por arrastre y fugas, W_b es el agua de purga. (En unidades consistentes: m^3/h o gal/min) (Perry, 2008)

Las pérdidas por evaporación se pueden estimar mediante:

$$W_e = 0.00085 W_c (T_1 - T_2) \text{ [Ecuación 22]}$$

Donde: W_c es el flujo de agua circulante en la entrada de la torre en m^3/h o gal/min, y $T_1 - T_2$ es la temperatura de entrada menos la temperatura de salida del agua en °F. La tasa de evaporación varía con el clima y la estación. Las pérdidas por arrastre y fugas se pueden estimar con la siguiente ecuación:

$$W_d = 0.0002W_c \text{ [Ecuación 23]}$$

Las pérdidas por la purga de agua de circulación se pueden calcular de acuerdo con el número de ciclos de concentración requeridos para limitar la formación de incrustaciones. (Perry, 2008)

Ciclos de concentración: Usualmente el agua de circulación contiene sólidos y minerales disueltos, sólidos suspendidos, bacterias y otras impurezas. Entre los sólidos disueltos en el agua, hay sales de magnesio y calcio, y otros sólidos que producen incrustaciones en diversas partes de la torre.

Los tres principales problemas del agua en una torre son el scaling, corrosión, y el ensuciamiento orgánico. Estos problemas se pueden tratar de tres formas, introduciendo químicos que previenen la corrosión y la precipitación de sólidos disueltos, con tratamiento de agua y mediante una purga que limite la concentración de sólidos.

Los ciclos de concentración son la relación entre los sólidos disueltos en el agua de recirculación y los sólidos disueltos en el agua de reposición. Dado que los cloruros permanecen solubles en la concentración, los ciclos de concentración se expresan mejor como la proporción del contenido de cloruros en el agua circulante y de reposición. Por lo tanto, la cantidad de purga requerida se determina a partir de:

$$\text{Ciclos de concentración} = \frac{W_e + W_d + W_b}{W_d + W_b}$$

[Ecuación 24]

Los ciclos de concentración involucrados con la operación de la torre de enfriamiento normalmente oscilan entre tres y cinco ciclos. (Perry, 2008)

d. Parámetros típicos del agua de circulación

A continuación, se muestra una referencia sugerida por Baltimore Air Company para los parámetros de calidad del agua de circulación en torres de enfriamiento de material de construcción de polímero.

Cuadro 7. Parámetros de calidad para el agua de circulación de torres

Parámetro	Valores recomendados
pH	6.5-9.2
Sólidos suspendidos	< 25 ppm
Conductividad	< 1600 µS/cm
Dureza total (CaCO3)	50-750 ppm
Cloruros	< 300 ppm

(Baltimore Air Company, s.f)

L. Tanques de acero para agua

1. Ventajas de utilizar tanques en un sistema

a. Mantiene constantes las razones de bombeo.
b. Equilibra el suministro y demanda de agua.
c. Suministra agua en caso de emergencia
d. Minimiza las variaciones de presión en el sistema de bombeo.
e. Incrementa la presión en el sistema
f. Permite la ecualización del agua

(Department of Environment and Conservation of Newfoundland, 2011)

2. Tipos de tanque soportados en el suelo

a. Reservorio.

Tanque cilíndrico de fondo plano cuya altura es igual o más pequeña que su diámetro. Generalmente se utilizan para grandes capacidades, en sistemas con alta demanda. (AWWA, 1999)

b. Tanque vertical.

Tanque cilíndrico de fondo plano cuya altura es mayor que su diámetro. Generalmente requieren menos mantenimiento y son más baratos que los tanques elevados. (AWWA, 1999)

3. Materiales

Las placas de acero deben cumplir con las especificaciones ASTM A36, grados A y B; A283 grados A,B,C y D; o A573 grado 58. (AWWA, 1999)

4. Grosor

El grosor de cualquier parte de la estructura no debe ser menor a 7.9E-3 m. Para tanques soportados sobre el suelo cuyo diámetro no exceda 15.2 m, pueden tener un grosor de pared mínimo de 7.9E-3 m. (AWWA, 1999)

Cuadro 8. Grosor mínimo para las láminas en contacto con agua

Diámetro nominal del tanque	Grosor mínimo de pared (m)
$D \leq 6.1$ m	4.76E-03
$6.1 \text{ m} < D \leq 15.2$ m	4.76E-03
$15.2 \text{ m} < D \leq 36.6$ m	6.35E-03
$36.6 \text{ m} < D \leq 61.0$ m	7.94E-03
$61.0 \text{ m} < D$	9.52E-03

Tomado de: (AWWA, 1999)

5. Accesorios para standpipes y reservorios

a. Agujeros de registro

Si son circulares, su tamaño mínimo debe ser 24 in; si son elípticos, su tamaño mínimo debe ser 0.45 m x 0.55 m. (AWWA, 1999)

b. Conexiones de tuberías

Las conexiones de tuberías generalmente se ubican en el fondo del tanque. (AWWA, 1999)

c. Rebalse

Protege al tanque de sobrepresión y sobrecarga. Un tanque operado adecuadamente no debería de rebalsar en operaciones normales. La tubería del rebalse debe tener una capacidad de descarga al menos igual que la razón de bombeo. La tubería del rebalse debe terminar con un codo, hasta alcanzar la altura fondo. Debe protegerse con una criba. (AWWA, 1999)

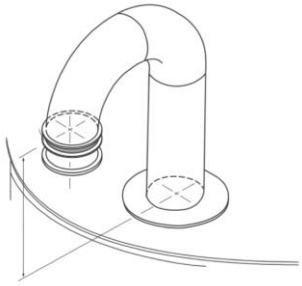
d. Escaleras

La distancia entre los pasamanos no debe ser menor a 16 in. Los escalones deben tener un grosor mínimo de 0.02 m (de barras redondas o rectangulares). Estos deben estar espaciados 0.3 m entre ellos, como máximo. (AWWA, 1999)

e. Venteos

La tubería de rebalse no debe considerarse como el venteo del tanque. El venteo debe colocarse por arriba del TCL. Su función es permitir el paso de aire incluso bajo condiciones de máximo flujo, para evitar el aumento de presión. Debe colocarse cerca del centro del techo, con una criba para evitar el ingreso de animales. (AWWA, 1999)

Figura 12. Venteo de un tanque



Tomado de: (AWWA, 1999)

6. Diseño de las bases

Las bases para tanques de fondo plano consisten en una losa de concreto o anillo relleno de grava, piedrín triturado o mezcla asfáltica. La base debe tener una altura mínima de 6 in. Los tanques que requieran pernos de anclaje deben estar fijados en un anillo o losa de cemento. (AWWA, 1999)

7. Tipos de bases para tanques de fondo plano

a. Tipo 1: tanque soportado en anillo de concreto.
b. Tipo 2: tanque soportado en losa de concreto.
c. Tipo 3: tanque colocado entre anillos de concreto.
d. Tipo 4: Tanque soportado en grava.
e. Tipo 5: tanque soportado en grava retenido por un anillo.

(AWWA, 1999)

8. Controles de nivel utilizados en tanques.

Se utilizan para regular el nivel del tanque, el cual está integrado a un sistema de bombeo. Los equipos se dividen en medidores de nivel puntual y medidores continuos. Algunos son:

a. Interruptor tipo flote

El switch se abre o se cierra cuando el flote sube o baja, según el nivel del tanque.

b. Medidor de radio frecuencia

Un cambio en la radio frecuencia indica la presencia o ausencia de agua.

c. Interruptor de conductividad

Mide la caída en la resistencia que ocurre cuando un líquido conductivo se pone en contacto con dos sondas.

d. Sensor hidrostático

Se utiliza un transmisor de presión para medir la presión diferencial entre la cabeza de líquido arriba del sensor y la presión atmosférica. Transmite una señal proporcional al nivel del líquido sobre el sensor. n atosfcurre una elevacin Newfousito con dos radio frecuencia indica la presencia o ausencia de agua. Ocurre una elevacin Newfou.

e. Sensor ultrasónico

Se transmite un pulso acústico de alta frecuencia desde un transductor hacia la superficie del agua. El tiempo que requiere el pulso para rebotar hacia el sensor determina el nivel en el tanque.

(Departamento de Medio Ambiente y Conservación de Newfoundland, 2011)

9. Mezclado del contenido del tanque

El agua contenida en un tanque tiende a formar zonas muertas en las que ocurre poco mezclado y circulación. Esto puede alterar la calidad del agua, especialmente el contenido de materia orgánica. Una adecuada circulación de agua en el tanque puede lograrse utilizando tuberías de entrada y salida distintas, separadas lo mayor posible. (Departamento de Medio Ambiente y Conservación de Newfoundland, 2011)

M. Normas legales

Guatemala cuenta con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 (2006) el cual dicta normas para que el Estado, las Municipalidades y los habitantes del territorio nacional cumplan y así poder garantizar la utilización y el aprovechamiento racional del agua. También cuenta con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente 05 de diciembre de 1986, para que se mantenga el equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente, en este se emiten las disposiciones y reglamentos correspondientes, para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares.

El acuerdo 236-2006 (2006) trata sobre los límites máximos permisibles de descargas de aguas a los diferentes cuerpos receptores, de los parámetros para aguas y valores de descarga al alcantarillado público y de los parámetros de aguas para reuso. Sin embargo, dicho acuerdo no está completo, por ello se está proponiendo una nueva ley general de aguas, esta está en etapa de aprobación.

La propuesta de ante proyecto de Ley General de Aguas trata sobre el manejo de las cuencas de los cuerpos de agua, también trata sobre la retribución equitativa por el uso del vital líquido y la imposición de

sanciones por el desvío de ríos. Por lo que, cuando una empresa haga una toma del recurso hídrico, deberá realizar un pago directo y reforestar los alrededores del área explotada.

La finalidad de esta ley es regular el uso del agua que tiene fines lucrativos, en donde las empresas que hagan uso del vital líquido paguen por metro cúbico, con ello se busca concientizar a las empresas sobre el buen manejo del recurso y además de ayudar a la minimizar el impacto ambiental.

N. Costos

Un presupuesto es una estimación con fundamento de las necesidades del proyecto en términos monetarios. Este me indica la cantidad de dinero que se requiere para la implementación y/o puesta en marcha. Para ello, se requiere una estimación de costos, esto se puede hacer a través de cotizaciones directas con diferentes proveedores, o bien, a través del uso de factores, también se contempla la mano de obra e instalación (BID, 2017)

El costo de inversión es el desembolso que se hace antes de iniciar la operación, esto incluye la compra de activos, estudios, licencias, planos, etc. Los costos de operación son aquellos en los que se incurre mientras el proyecto está en funcionamiento (Molina, 2016)

Entre los costos indirectos se encuentra el de operación y mantenimiento que se realizan posteriormente a la ejecución del proyecto.

Para conocer el costo total de inversión del circuito de recirculación de agua planteado, el equipo requerido se puede dividir en (1) equipo de procesamiento, (2) equipo para manejo y almacenamiento de materias primas, y (3) equipo de manejo y almacenamiento de productos terminados. Existen diversos métodos para obtener dichos costos, tales como: cotizaciones de fabricantes, registros de compras anteriores actualizados con índices de costos apropiados o bien, con métodos exponenciales de ajuste de precio para cambios de capacidad (Perry, 1997).

Para la estimación de instalación y fabricación de tuberías de la planta se puede realizar utilizando factores de estimación. Generalmente este rubro oscila entre el 18 al 61% del costo del equipo FOB; lo cual representaría normalmente el 7 – 15% del costo de la planta instalada. Al hablar de instalación se hace referencia a la construcción de bases, a la mano de obra para la realización de las juntas de las tuberías, al arranque, el conducto, el cable y una parte proporcional del panel de servicio y las barras colectoras (Perry, 1997).

Estimación eléctrica y de instrumentación: estos costos oscilan entre 4 y 10% del costo total de la planta instalada. Este tipo de estimación puede variar significativamente según los tamaños de los equipos que se están por instalar. Los costos eléctricos involucran estos cuatro componentes principales: cableado de alimentación, iluminación, transformación y servicio, cableado de instrumentos y control.

V. ANTECEDENTES

A. Módulo 1: Molinos tándem “B”

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero.

1. Abastecimiento de agua

El ingenio se abastece de cinco pozos que están distribuidos en diferentes partes de la planta. El pozo de fábrica, patio de caña, el del hotel y el de calderas se utilizan en: los distintos equipos de fábrica, molinos, limpieza en fábrica, servicios sanitarios, edificios administrativos, el hotel, y en los diferentes talleres mecánicos del ingenio. El agua de estos pozos es bombeada hacia un tanque general, ubicado en el quinto nivel de la fábrica en donde se distribuye por gravedad a los distintos puntos por medio de un sistema de tuberías. Por otra parte, el pozo ubicado en el área de cogeneración es utilizado únicamente para los servicios y operaciones de esta área.

Además de los pozos, el ingenio se abastece de dos ríos, siendo estos el río Provincias y el río Guacalate. Este último se utiliza únicamente en los condensadores barométricos y en el lavado de las bandas transportadoras de cachaza. Para esto el río se desvía hacia una presa y pasa por un desarenador y una criba antes de entrar a los condensadores. Por otra parte, el agua de río Provincias es utilizada para el enfriamiento de los reductores y chumaceras de los molinos, y equipos en el área de caldera. Esta agua tiene el mismo tratamiento que el agua del río Guacalate. Según los encargados en el área de molinos, el río Provincias posee una menor cantidad de contaminación orgánica.

2. Sistemas de enfriamiento actuales

El ingenio posee tres torres de enfriamiento ubicadas en el área de fábrica, calderas y cogeneración. El agua utilizada para los condensadores barométricos se encuentra en un circuito cerrado, en donde el agua que sale de los condensadores se envía a la torre de enfriamiento de fábrica. Se utiliza el agua de río Guacalate como agua de compensación de la torre. Las otras dos torres se utilizan para el enfriamiento del agua de los condensadores de las turbinas de vapor. Para estas se utiliza agua de pozos como agua de compensación.

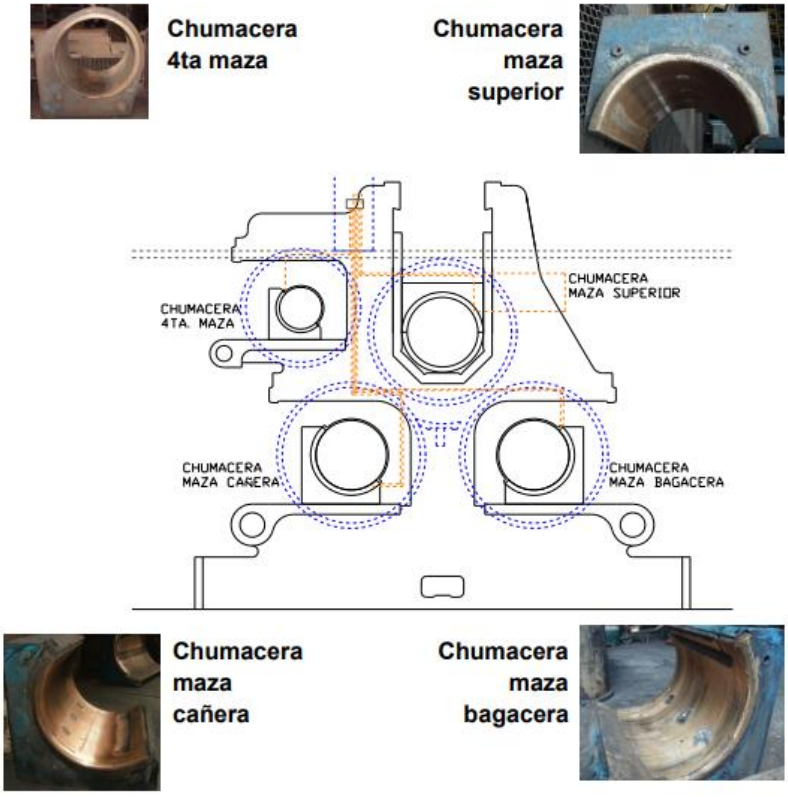
Por otra parte, los sistemas de enfriamiento de los equipos de fábrica, molinos y patio de caña son sistemas abiertos que necesitan de un suministro constante de agua fresca. En el área de fábrica, los efluentes del agua de enfriamiento se recolectan en un tanque y se descartan hacia una zanja o se descartan

directamente en esta. En el área de molinos, todos los efluentes del agua de enfriamiento se recolectan en un tanque y el agua es bombeada hacia los equipos de enfriamiento de patio de caña. En esta última área los efluentes del agua de enfriamiento se descartan hacia una zanja, que luego se juntan con los efluentes de fábrica y molinos. Estos pasan por una trampa de grasa y son enviados a los cañales para utilizase como agua de riego. En el área de molinos los equipos para el sistema de enfriamiento son de concha y tubos para el aceite de los reductores y para el sistema hidráulico, y se utilizan chumaceras para los ejes de las mazas.

3. Área de molinos tándem B

El área de molinos tándem B posee un total de 6 molinos en donde el primer molino trabaja con un sistema hidráulico que se encarga de la operación total del molino, y que utiliza agua de pozos para su enfriamiento. Los demás molinos poseen 8 chumaceras y 3 reductores para las transmisiones. Las chumaceras se distribuyen de la siguiente forma para cada lado del molino:

Figura 13. Diagrama de distribución de las chumaceras en un molino de cuatro mazas



(Marroquín, 2010)

El área de molinos se encuentra dentro la planta industrial y se ubica como se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 14. Diagrama de distribución de la planta de producción del ingenio.

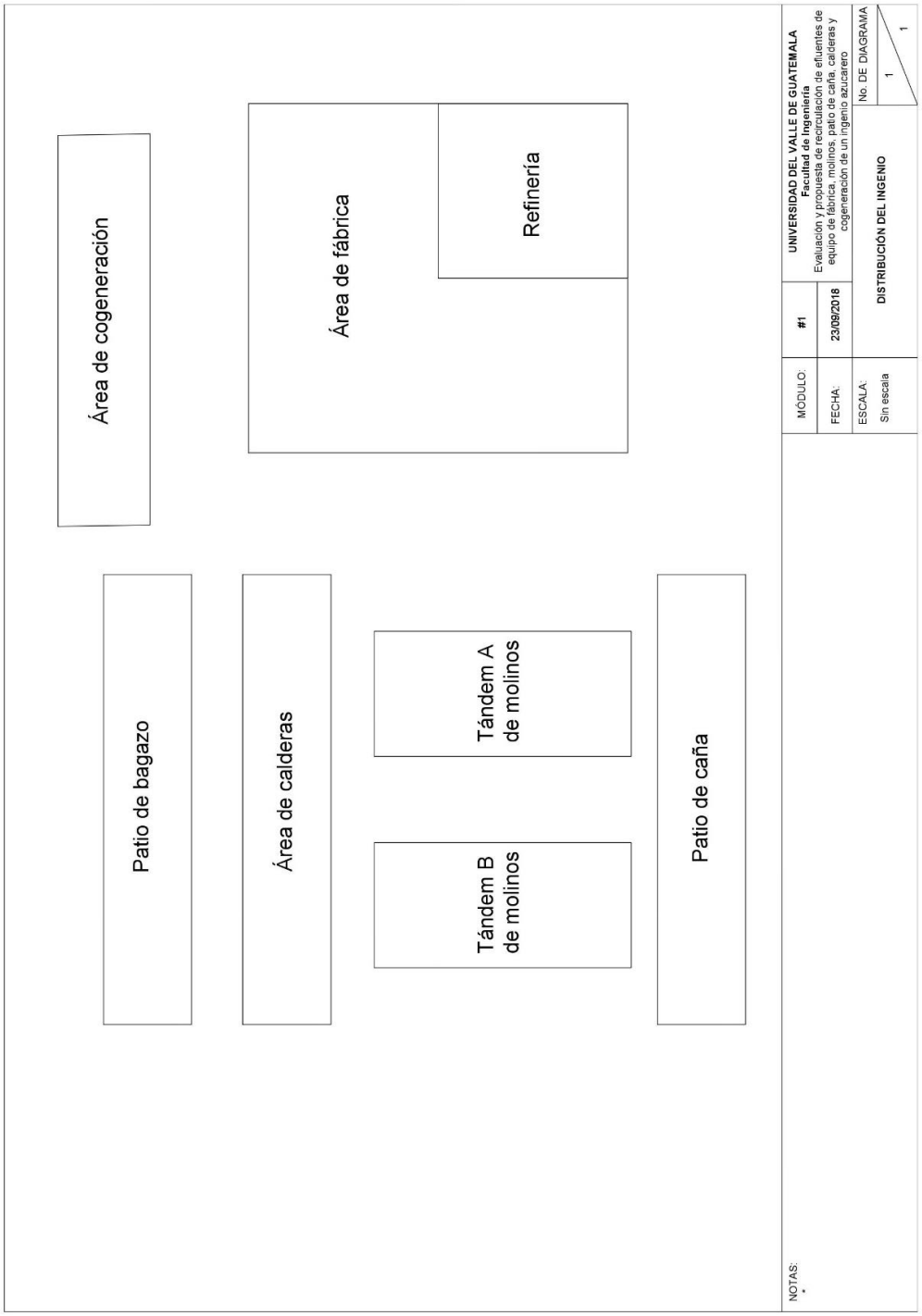
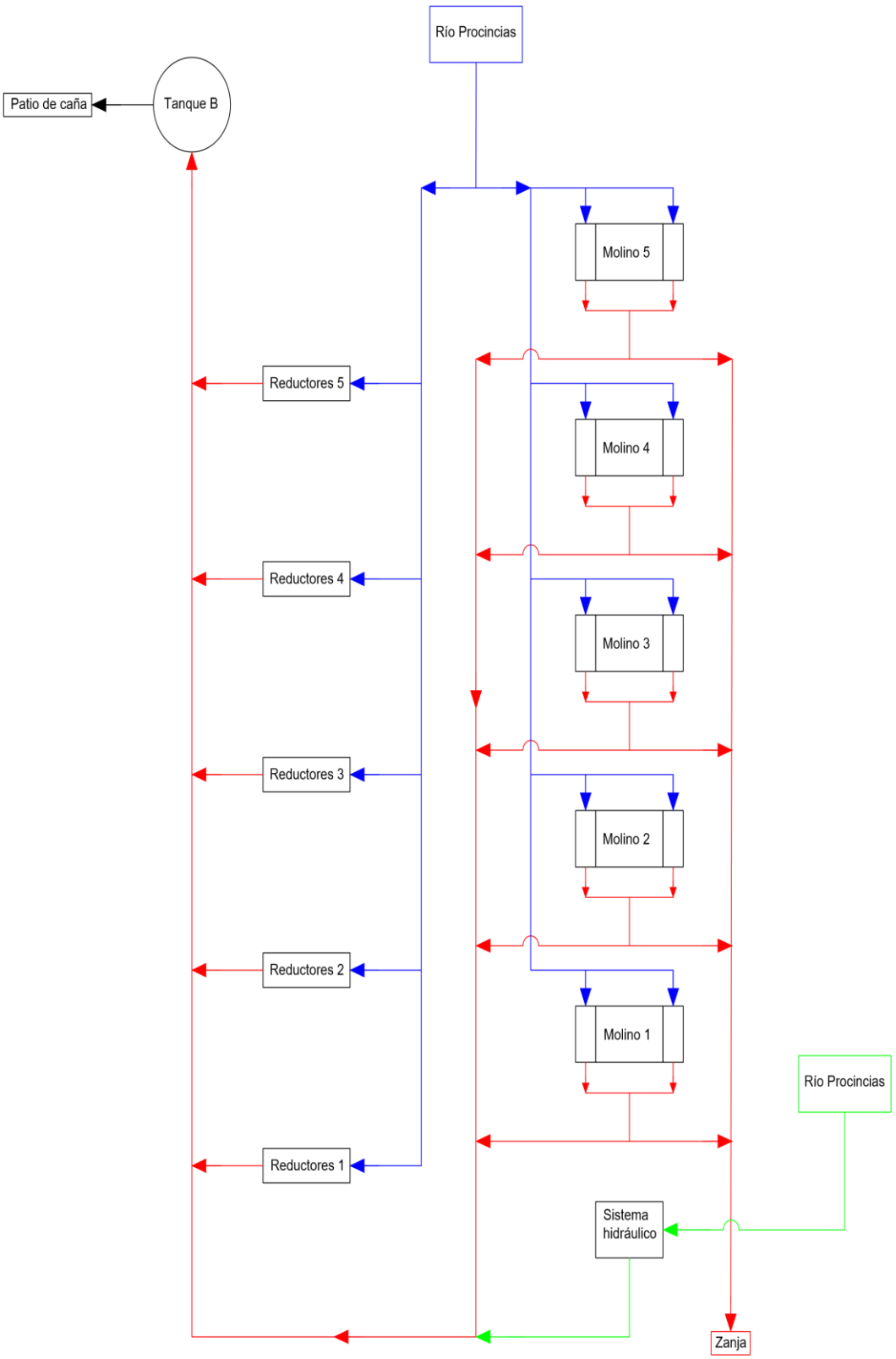


Figura 15. Diagrama de distribución de agua de enfriamiento en el tándem B



En la Figura 15 se observa la distribución del agua de enfriamiento en los molinos y reductores, al igual que se observa la distribución de los molinos en este tándem. En total se tienen 56 efluentes de agua de enfriamiento en esta área, de los cuales 40 son de chumaceras, 1 de la unidad hidráulica y 15 de los reductores. Por otra parte, en las chumaceras se tiene un efluente que se descarta directamente en la zanja. Se tiene este efluente ya que se desvía parte de los efluentes del agua de enfriamiento de las chumaceras hacia los ejes de las mazas de los molinos. Esta agua tiene contacto directo con los ejes y cae directamente al suelo, en donde se contamina con sólidos y con los lubricantes de los ejes. Los operarios indicaron que se realiza esta operación para evitar que las chumaceras eleven su temperatura ya que el enfriamiento dentro de las chumaceras no es suficiente.

B. Módulo 2: Área de patio de caña

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de patio de caña en un ingenio azucarero.

1. Fuentes de abastecimiento de agua en el ingenio

El ingenio ese abastece de siete fuentes principales de agua: dos ríos y cinco pozos. Los equipos de enfriamiento tratados en este módulo, utilizan agua proveniente de uno de estos ríos (Río Provincias) y tres pozos. El ingenio cuenta con un tanque general de abastecimiento de agua subterránea, que se alimenta de los tres pozos mencionados. Este se encuentra en el quinto nivel del área de fábrica y se le conoce como "tanque elevado".

En el siguiente cuadro se muestran los flujos volumétricos utilizados de cada fuente de agua que abastece al ingenio.

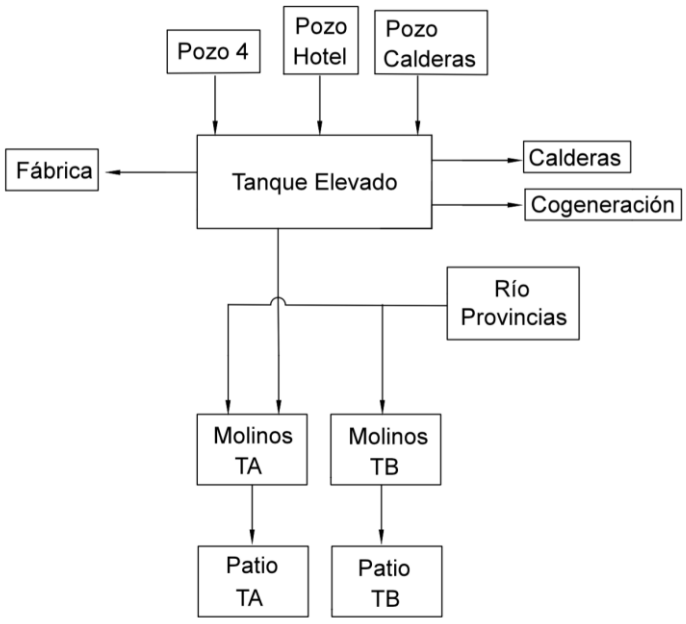
Cuadro 9. Flujos volumétricos de las fuentes de agua del ingenio

Fuente de abastecimiento de agua	Caudal mínimo (10^{-3} m^3/s)	Caudal máximo (10^{-3} m^3/s)	Caudal promedio (10^{-3} m^3/s)
Pozo calderas	8.77	31.64	20.66
Pozo hotel	42.02	44.64	43.71
Río Provincias	54.58	69.21	61.55
Pozo 4	32.74	51.66	43.66
Total de pozos y provincias	134.95	193.83	169.57
Tanque elevado	83.53	127.94	108.03

Nota: Los datos de caudal mostrados en este cuadro fueron brindados por el departamento de automatización del ingenio durante el periodo de zafra 2017-2018.

El agua del tanque elevado (agua de pozos) abastece de agua al área de fábrica, calderas y cogeneración, molinos y patio de caña, además del área de servicios y talleres mecánicos, los cuales no fueron evaluados en este megaproyecto. Como se observa en la siguiente figura, el área de molinos y patio de caña reciben una mezcla de agua de Río Provincias y tanque elevado.

Figura 16. Distribución de agua de pozos y Río Provincias



(Elaboración propia, 2018)

Nota: En esta figura se muestran únicamente las ramificaciones del tanque elevado estudiadas en este megaproyecto. La distribución que se presenta es en el área de fábrica, calderas y cogeneración, molinos y patio de caña.

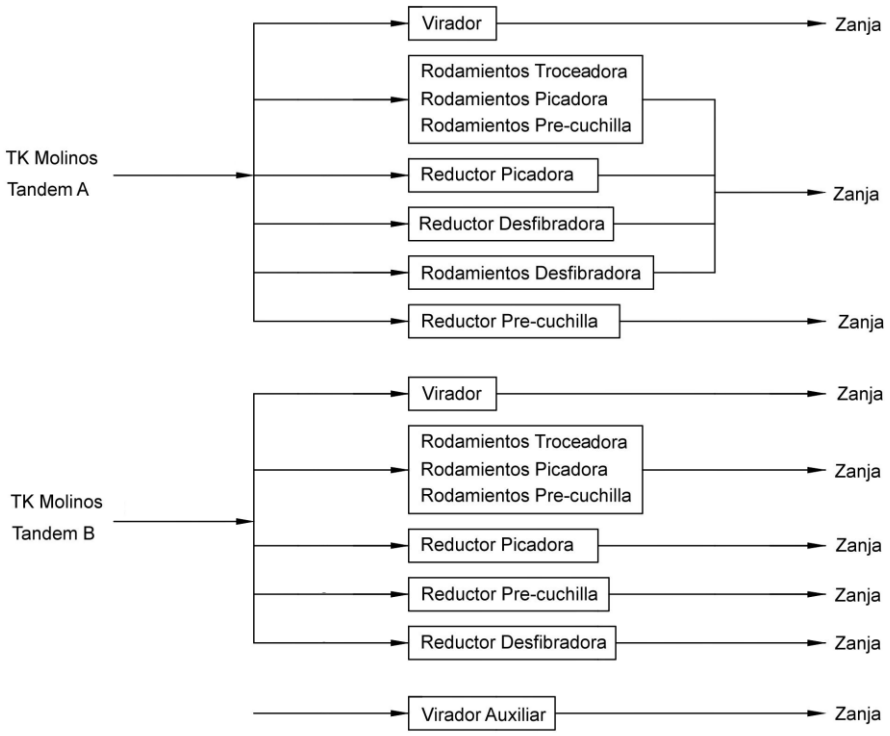
Por otro lado, el agua de río Guacalate se utiliza en los condensadores barométricos, en el lavado de caña y de bandas transportadoras de cachaza. El agua de río Provincias se utiliza para los sistemas de enfriamiento de molinos, patio de caña y otros equipos del área de calderas. Antes de utilizarse, el agua de ambos ríos pasa por un desarenador y una criba.

Actualmente, el ingenio cuenta con sistemas de recirculación con torres de enfriamiento para el agua de Río Guacalate (condensadores barométricos) y el agua subterránea que se emplea en calderas y cogeneración. Sin embargo, el agua de tanque elevado y Río Provincias utilizada para el enfriamiento de los equipos evaluados en este megaproyecto se encuentra en un circuito abierto.

2. Equipos que utilizan agua de enfriamiento en patio de caña

El área de patio de caña cuenta con once intercambiadores que requieren el uso de agua de enfriamiento. En la siguiente figura se muestran los equipos que emplean intercambiadores para enfriar lubricantes. Estos generan once efluentes de agua de enfriamiento que se descartan a la "zanja" (desagüe).

Figura 17. Esquema del sistema de enfriamiento en patio de caña



(Elaboración propia, 2018)

Nota: En esta figura se muestran los equipos que requieren enfriamiento en patio de caña. Los rodamientos que aparecen en un solo recuadro están integrados en un solo sistema de enfriamiento (un mismo intercambiador). Además de los once equipos mencionados, existe un virador auxiliar que se utiliza cuando alguno de los otros viradores está en mantenimiento.

C. Módulo 3: Área de fábrica

Evaluación y propuesta de recirculación de los efluentes de hidrolavadora, turbogenerador y sistemas de enfriamiento de fábrica en un ingenio azucarero.

1. Fuentes de abastecimiento de agua en el ingenio

El ingenio donde se realizó el estudio se abastece de seis fuentes principales de agua: dos ríos cercanos y cuatro pozos. Los siguientes pozos alimentan a un tanque general (tanque elevado) ubicado en el último nivel de la planta industrial del ingenio: pozo calderas, pozo hotel y pozo 4. El tanque general suministra parte del agua utilizada en el área de molinos, fábrica, calderas y cogeneración. Para los sistemas de enfriamiento, se utiliza agua que se extrae de un río y del tanque elevado.

A continuación se muestra el caudal máximo, mínimo y promedio que se extrajo de cada fuente en el período de zafra estudiado.

Cuadro 10. Flujo de agua extraída de cada fuente de abastecimiento

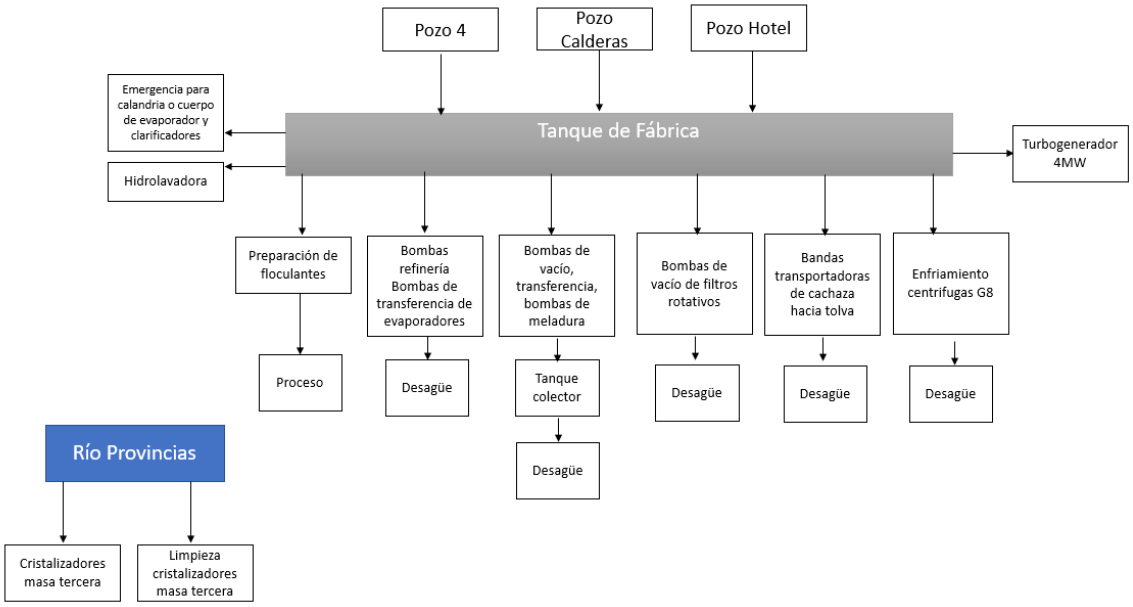
Fuente de abastecimiento de agua	Caudal mínimo (m^3/h)	Caudal máximo (m^3/h)	Caudal promedio (m^3/h)
Pozo calderas	31.58	113.91	74.37
Pozo hotel	151.26	160.69	157.34
Río	196.49	249.16	221.56
Pozo 4	117.86	185.98	157.18
Total de pozos y provincias	485.81	697.80	610.45
Tanque elevado	300.70	460.58	388.89

[1] Los datos mostrados en el cuadro anterior corresponden al caudal mínimo, máximo y promedio que fue extraído del 13 de noviembre de 2017 al 2 de febrero de 2018. Estos datos fueron proporcionados por el departamento de automatización del ingenio.

2. Uso del agua para enfriamiento y limpieza en equipos de fábrica

El área de fábrica utiliza agua del tanque elevado y río para el enfriamiento y limpieza de equipos. En el siguiente esquema se muestran la distribución de agua del tanque elevado y rio en fábrica.

Figura 18. Distribución del agua del tanque elevado y de río en el área de fábrica



Como se observa en el esquema anterior, el agua del tanque elevado se utiliza para diversos usos en fábrica como la preparación de floculantes y agua para emergencia de calandria, entre otros. En este estudio se tomaron en cuenta los efluentes que se generan de los siguientes usos:

- Sistemas de lubricación de los cojinetes de las bombas centrífugas de: refinería, transferencia de evaporadores, vacío y meladura.
- Agua de enfriamiento para centrífugas G8 y cristalizadores de masa tercera.
- Agua para lavado de cuerpo de evaporadores con hidrolavadora, lavado de bandejas de cristalizadores de masa tercera y bandas transportadoras de cachaza.

Actualmente en fábrica el agua que se utiliza para la lubricación de los cojinetes de las bombas de meladura, vacío y transferencia de evaporadores, se envía a un tanque de recepción ubicado en el primer nivel de fábrica. A continuación se muestran las dimensiones de dicho tanque.

Cuadro 11. Dimensiones del tanque de bombas de meladura, vacío y transferencia

Volumen (m^3)	Diámetro (m)	Altura (m)
3.44	1.53	1.87

3. Condiciones meteorológicas del departamento de Escuintla

Se consultó en la red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado Sobre el Cambio Climático (ICC) la altitud, presión atmosférica y las coordenadas geográficas del departamento de Escuintla. Se tomó como referencia la estación meteorológica Concepción, ya que esta es la más cercana al ingenio azucarero. Para la presión atmosférica se tomaron los datos registrados del 1 de noviembre de 2017 al 25 de abril de 2018. En el siguiente cuadro se muestra la presión atmosférica promedio y altitud.

Cuadro 12. Altitud y presión atmosférica promedio del departamento de Escuintla

Altitud (msnm) [1]	Presión atmosférica promedio (Pa)
350	99,527.57

[1] La altitud se presenta en metros sobre el nivel del mar (msnm) Consultado en: ICC, 2018

* Del Cuadro 184 al

Cuadro 185 puede consultarse la presión atmosférica registrada por día.

Cuadro 13. Coordenadas geográficas de Escuintla, Guatemala en grados decimales

Latitud	Longitud
14.34 °	-90.79°

Consultado en: ICC, 2018

El ingenio Santa Ana cuenta con dos estaciones meteorológicas, Santa Ana y California. Se consultaron los datos de humedad relativa y temperatura de bulbo seco del 13/11/2017 al 15/04/2018 en la estación meteorológica Santa Ana. A continuación se muestran los valores promedio.

Cuadro 14. Humedad relativa y temperatura de bulbo seco promedio registradas

Humedad relativa máxima %	Humedad relativa mínima %	Temperatura de bulbo seco máxima (°C)	Temperatura de bulbo seco mínima (°C)
49.59	23.09	34.69	21.25

*Del Cuadro 186 al Cuadro 187 pueden consultarse los valores máximos y mínimos registrados por día de humedad relativa y temperatura de bulbo seco.

4. Torres de enfriamiento del ingenio

En la actualidad la planta industrial del ingenio dispone de tres torres de enfriamiento: torre de enfriamiento de fábrica, torre de las calderas de fábrica (Bloque 1) y torre de las calderas de cogeneración (Bloque 2).

La torre de enfriamiento de fábrica permite la reutilización de los condensados de tachos (fábrica y refinería) y de los condensadores barométricos. El agua que abastece a este circuito proviene del río

Guacalate. Esta torre de enfriamiento es de tiro inducido a contraflujo y cuenta con 3 celdas. A continuación, en el cuadro se muestran las condiciones de operación y el detalle del diseño estructural.

Cuadro 15. Condiciones de operación y diseño estructural de la torre de fábrica

Condiciones de diseño y operación	Valor
Flujo de agua	7,494.29 m^3/h
Temperatura de entrada	45 °C
Temperatura de salida	30 °C
Temperatura de bulbo húmedo	26.6°C
Cabeza de la bomba	7.31 m
Potencia del motor	149.14 kW
Pérdidas por arrastre del agua circulante	0.0005%
Carga de viento	292 kg/m^2
Elevación sobre el nivel del mar	100.58 m
Detalles estructurales	
Número de celdas	3
Ventiladores por celda	1
Dimensiones de la celda	14.63 m x 14.63 m
Dimensiones generales de la torre	34.74 m x 14.63 m
Altura de la base a la cubierta del ventilador	14.32 m
Altura total de la torre	11.88 m

*La información presentada en el cuadro anterior se obtuvo a partir de la información que el ingenio proporciono.

La torre de enfriamiento de calderas de fábrica, es de tres celdas con operación en paralelo y cuenta con tres ventiladores de tiro inducido. La torre de cogeneración en el bloque 2 consta de dos celdas y dos ventiladores inducidos. La función de las torres de enfriamiento es mantener las condiciones de operación adecuadas en los condensadores.

Según datos proporcionados por el ingenio para las condiciones meteorológicas en el periodo de zafra 2017-2018 se tuvo una temperatura de aproximación de 5 a 6°C, en las torres de enfriamiento instaladas.

D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración

Evaluación y propuesta de un circuito de recirculación de los efluentes de agua de purgado y enfriamiento en los equipos de las áreas de calderas y cogeneración de un ingenio azucarero.

1. Situación actual del ingenio

a. Equipos analizados dentro del alcance del proyecto

El ingenio cuenta con 5 pozos de agua situados a lo largo de la planta: pozo de fábrica, pozo de calderas, pozo de patio de caña, pozo del hotel y pozo del bloque 2, así como agua de los ríos Provincias y Guacalate. El agua extraída de estas fuentes se emplea para diversidad de usos, desde enfriamiento, en los condensadores barométricos, en el lavado de caña, servicios, entre otros.

Para el área de calderas se tiene la disponibilidad de usar el agua de un tanque elevado ubicado en el último nivel de la fábrica, el cual es alimentado por el agua de los pozos de fábrica, calderas, patio de caña y del hotel, y que se distribuye por gravedad hacia un tanque auxiliar ubicado en el área de filtros, se dónde sale una línea principal que se ramifica hacia todos los usos dentro del área, desde servicios hasta enfriamiento de equipos. De forma auxiliar, se puede emplear para enfriamiento de los equipos agua del río provincias que se recolecta en una serie de presas o piletas y se bombea mediante bombas centrífugas a las que llaman “parábolas”.

b. Equipos analizados dentro del alcance del proyecto

Cuadro 16. Equipos analizados dentro del área de calderas y cogeneración.

Equipo	Área	Bloque	Operación en zafra	Cantidad de puntos de enfriamiento
Bomba 1 caldera 6	Calderas	1	Sí	2
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	Sí	2
Bomba comodín Calderas 5 y 6	Calderas/cogeneración	1	Sí	1
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	Sí	1
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	Sí	1
Bomba 1 calderas 1 y 2	Calderas	1	Sí	2
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	1	Sí	2
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	1	Sí	3
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	1	Sí	5
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	Calderas	1	No	2
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Calderas	1	Sí	5
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	1	Sí	5
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	1	Sí	5
Tomamuestra vapor caldera 1	Calderas	1	No	1
Tomamuestra domo caldera 1	Calderas	1	No	1
Tomamuestra vapor caldera 4	Calderas	1	No	1
Tomamuestra domo caldera 4	Calderas	1	Sí	1
Tomamuestra vapor caldera 5	Cogeneración	1	Sí	1
Tomamuestra domo caldera 5	Cogeneración	1	Sí	1
Tomamuestra vapor caldera 6	Calderas	1	Sí	1

(Continuación Cuadro 16)

Equipo	Área	Bloque	Operación en zafra	Cantidad de puntos de enfriamiento
Tomamuestra domo caldera 6	Calderas	1	Sí	1
Tomamuestra vapor caldera 7	Calderas	1	Sí	1
Tomamuestra domo caldera 7	Calderas	1	Sí	1
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	Calderas	1	Sí	1
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	Sí	2
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	Sí	2
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	Calderas	1	Sí	1
Ventilador inducido caldera 1	Calderas	1	No	1
Ventilador inducido 1 Caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	Sí	2
Ventilador inducido 1 Caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	Sí	2
Ventilador inducido 2 Caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	Sí	2
Ventilador inducido 2 Caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	Sí	2
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	Sí	1
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	2	Sí	1
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	2	Sí	1
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	1	Sí	Unidad hidráulica
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	1	Sí	Eyector
Turbogenerador condensing	Cogeneración	1	Sí	Unidad hidráulica

Observaciones:

[1] El área de calderas y cogeneración se puede dividir en las áreas de bloque 1 y bloque 2, con los equipos correspondientes a cada sección.

[2] Durante la zafra 2017-2018 no operaron todos los equipos descritos por no ser necesario o por requerir mantenimiento, aunque sí se consideraron para el diseño de recirculación.

[3] Los distintos puntos de enfriamiento por equipo se pueden ubicar en el esquema número 7, en la sección de anexos.

Cuadro 17. Equipos analizados en área de calderas y cogeneración y su fuente de agua.

Equipos analizados dentro del área de calderas y cogeneración y la fuente de agua que utilizan para su operación o enfriamiento durante el periodo de zafra 2017-2018.

Equipo	Área	Bloque	Fuente de agua de enfriamiento	
			Tanque elevado auxiliar o río provincias	Torre de enfriamiento del bloque 1
Bomba 1 caldera 6	Calderas	1	X	
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	X	
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas/cogeneración	1	X	
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	X	
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	X	
Bomba 1 calderas 1 y 2	Calderas	1	X	
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	1	X	
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	1	X	
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	1	X	
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	Calderas	1	X	
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Calderas	1	X	
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	1	X	
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	1	X	
Tomamuestra vapor caldera 1	Calderas	1	X	
Tomamuestra domo caldera 1	Calderas	1	X	
Tomamuestra vapor caldera 4	Calderas	1	X	

(Continuación Cuadro 17)

Equipo	Área	Bloque	Fuente de agua de enfriamiento	
			Tanque elevado auxiliar o río provincias	Torre de enfriamiento del bloque 1
Tomamuestra domo caldera 4	Calderas	1	X	
Tomamuestra vapor caldera 5	Cogeneración	1	X	
Tomamuestra domo caldera 5	Cogeneración	1	X	
Tomamuestra vapor caldera 6	Calderas	1	X	
Tomamuestra domo caldera 6	Calderas	1	X	
Tomamuestra vapor caldera 7	Calderas	1	X	
Tomamuestra domo caldera 7	Calderas	1	X	
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	Calderas	1	X	
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	X	
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	X	
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	Calderas	1	X	
Ventilador inducido caldera 1	Calderas	1	X	
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1		X
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1		X
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1		X
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1		X

(Continuación Cuadro 17)

Equipo	Área	Bloque	Fuente de agua de enfriamiento	
			Tanque elevado auxiliar o río provincias	Torre de enfriamiento del bloque 1
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	X	
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	2	X	
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	2	X	
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	1		X
Turbogenerador condensing	Cogeneración	1		X

Observaciones:

[1] Algunos equipos del área de cogeneración utilizan agua de la torre de enfriamiento del bloque 1 por decisión del departamento de cogeneración y para reducir el consumo de agua del tanque elevado.

[2] Las bombas de inyección de la caldera 5 son una excepción por su relativamente reciente traslado hacia otra área, en dónde se decidió usar agua del tanque elevado auxiliar.

[3] Las torres de enfriamiento del bloque 1 y bloque 2 utilizan agua para fines de reposición debido a las pérdidas por evaporación y durante el proceso.

c. Generalidades de las calderas disponibles

En el ingenio se tienen dos tipos de calderas que se distinguen por el modo de operación.

Cuadro 18. Distinción de las calderas de ciclo condensing y ciclo de escape en el ingenio

Ciclo condensing (regenerativo)	Ciclo de escape
No aportan vapor a proceso. La última etapa de la turbina se condensa y mediante bombas de condensado se pasan por intercambiadores de calor de concha y tubos (que reciben vapor). Se realizan extracciones de vapor en las distintas etapas de la turbina para elevar la temperatura (gastando menos combustible y ahorrando energía) del agua condensada.	Luego de salir de turbina, el vapor (aún no saturado) va hacia el proceso donde se aprovecha la energía por los evaporadores (intercambiadores). No se tiene el condensador, porque la función del condensador la hacen los equipos del proceso, en donde se alimenta vapor a los evaporadores. Hay bombas de condensado que retornan el condensado hacia los de-aireadores de dichas calderas, en donde también se les inyecta vapor para eliminar oxígeno. El único contacto con la fábrica de azúcar es que les mandan vapor y regresan condensado para la caldera.

Observaciones:

[1] En el ingenio solo se dispone de calderas que operan en ciclo condensing o ciclo de escape, siendo el último el que aporta vapor a los evaporadores y no directamente a las turbinas para generación eléctrica.

Cuadro 19. Información general de todas las calderas disponibles en el ingenio.

Caldera	Bloque	Tipo de ciclo	Operación durante la zafra
1	1	Ciclo de escape	No
2	1	Se encuentra fuera de uso.	No
4	1	Ciclo de escape	No
5	1	Ciclo Condensing	Sí
6	1	Ciclo Condensing	Sí
7	1	Ciclo de escape	Sí
8	2	Ciclo condensing	Sí

Observaciones:

[1] La caldera 1 no operó por no considerarse necesario (es un sistema auxiliar) y porque no estaba preparada para iniciar la operación. La caldera 2 no se encuentra en servicio y actualmente la usan como bodega. La caldera 4 operó de forma ocasional durante la zafra. Los datos fueron tomados para el periodo de zafra 2017-2018.

Cuadro 20. Descripción de los componentes básicos dentro del circuito de vapor de calderas.

Etapa	Equipo	Descripción
1	Caldera	Se genera vapor saturado saliendo del domo superior de la caldera.
2	Super heaters	Se pasa este vapor por dos sobre-calentadores (super heaters) para alcanzar temperatura óptima de turbina (vapor sobre calentado) para evitar que sufra daños por el vapor condensado que erosione las aspas o paletas. Hay una inyección de agua con válvula automática que viene de bombas de alimentación para regular la temperatura. El proceso es automatizado.
3	Inyector de agua	Cuando hay un exceso en la temperatura límite de 900°F – 925°F en el vapor y super heaters, se inyecta espray de agua para regular la temperatura con válvula automática. Son dos válvulas bajo control.
4	Válvula de purga	Se realiza una primera purga para ventear el vapor en dos puntos. Permiten controlar los parámetros bajo control.

(Continuación Cuadro 20)

Etapa	Equipo	Descripción
5	Turbina	Se hace trabajo en la turbina. La turbina puede trabajar como solo para producir energía o dando vapor a proceso (ciclo combinado). Todo el vapor que pasa, asumiendo que no hay pérdidas, llega al condensador y se condensa.
6	Condensador	Pasa por tubos del condensador internos, por fuera pasa vapor, y se da el intercambio. El agua va al tanque de-aireador, que realiza un trabajo mecánico al inyectar agua y vapor.
7	De aireador	Deja caer agua en forma de cortina por arriba, y en la parte de abajo entra vapor a 25-28 psi y por contraflujo de-airea el agua, eliminando los incondensables como el oxígeno. Es un punto de monitoreo crítico para determinar el porcentaje de oxígeno disuelto en el agua.

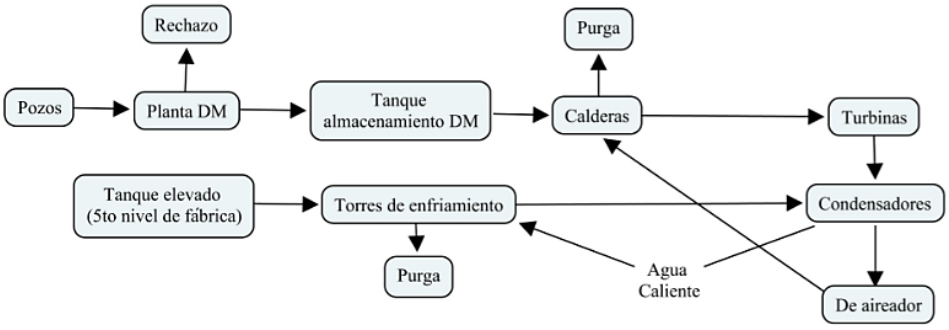
Observaciones:

[1] Se presentan los componentes básicos del circuito de las calderas del ingenio descrito por personal del ingenio, los cuales representan los puntos críticos de control. Se omiten otros componentes secundarios.

d. Operación de las calderas en el área del bloque 1 y bloque 2

Las calderas de fábrica del bloque 1 utilizan el agua de los condensados provenientes de los evaporadores de primero, segundo y tercer efecto. Su combustible es el bagazo residual, aunque para la caldera 8 del bloque 2 se emplea carbón en época de no zafra.

Figura 19. Diagrama de las etapas principales del circuito de agua en las calderas de fábrica



(Elaboración propia, 2018)

Observaciones:

[1] El rechazo de la planta de agua desmineralizada (DM) se debe a la remoción de lo minerales eliminados del agua a tratada.

[2] Las purgas de las calderas y torres de enfriamiento son para mantener los parámetros fisicoquímicos del agua durante la operación porque estos aumentan con el tiempo como consecuencia del paso a través del circuito y evaporación.

Las calderas del bloque 1 utilizan lavadores de gases, mientras que la caldera 8 del bloque 2 emplea un precipitador electrostático y tiene su propia torre de enfriamiento.

Las bombas de inyección de agua a calderas suministran el flujo requerido a cada una de las calderas en operación; solo en el caso particular de las bombas de las calderas 1 y 2, estas pueden suministrar agua al área de molinos de fábrica en caso de alta demanda.

Las bombas de inyección de agua a calderas se dividen en bombas accionadas por un motor eléctrico o bombas accionadas por una turbina (turbo bombas). La bomba “comodín” tiene la peculiaridad de poder abastecer agua a la caldera 5 o 6 con un simple manejo de válvulas.

En los sistemas hidráulicos se usa agua para enfriar el aceite hidráulico que se calienta. En el caso de los conductores de bagazos, mesas hidráulicos y movimiento de arados se encargan de movilizar el bagazo por toda el área.

e. Proceso de toma de muestra del agua de calderas para análisis de laboratorio.

Se dispone de pequeñas tomas de agua a los costados de las calderas en donde se pueden realizar muestreo del agua en la caldera. Cada caldera dispone de un sistema de agua de enfriamiento para las muestras de agua a analizar en el laboratorio. Según los análisis de laboratorio, se decide si realizar purgas para mantener concentraciones adecuadas de componentes.

Cuadro 21. Parámetros fisicoquímicos que se controlan en el agua de calderas

Parámetro	Cantidad
pH	8.6 – 9.2
Sílice	< 5 ppm en cogeneración y <10 ppm en las de procesos.
Conductividad	< 500 μ mhos
Alcalinidad	< 40, 20, 8, etc. dependiendo de la caldera
Hierro	< 0.5 ppm en algunas calderas
Dureza	Debería ser cero
Oxígeno disuelto	< 20 ppb
Sólidos totales disueltos	< 250 ppm

Observaciones:

[1] Estos parámetros son los descritos por el personal del laboratorio de agua de calderas y torres de enfriamiento.

[2] La caldera de 8 de cogeneración es una caldera de alta presión.

f. Tratamiento del agua de calderas

Se dispone de una planta para desmineralizar el agua que funciona por ósmosis inversa. El agua tratada se almacena en tanques y se emplea como agua de reposición en las calderas.

g. Torres de enfriamiento

Se dispone de tres torres de enfriamiento en el ingenio:

1) La de fábrica
2) Calderas de fábrica, Bloque 1
3) Calderas de cogeneración, Bloque 2

Estas no emplean agua tratada, sino agua del tanque elevado de fábrica ubicado en el quinto nivel. Solo la torre del bloque 2 emplea agua de reposición de un pozo propio ubicado en el bloque 2 e independiente de los pozos de fábrica.

Se realiza un purgado del agua caliente para reducir los parámetros químicos y mantenerlos dentro de rangos permisibles.

La torre de calderas de fábrica, ubicada en el bloque 1, es de tres celdas que operan en paralelo y cuenta con tres ventiladores de tiro inducido. La torre de cogeneración en el bloque 2 consta de dos celdas y dos

ventiladores inducidos. Las funciones de las torres de enfriamiento es mantener las condiciones de operación adecuadas en los condensadores.

El agua de las torres lleva un tratamiento no tan estricto como el agua de las calderas. Se le añaden sustancias para controlar el crecimiento de algas, hipoclorito de sodio para evitar crecimiento orgánico, ácido sulfúrico para regular el pH, anti incrustantes, entre otros.

El agua de reposición a las torres oscila entre los 250 a 300 galones por minuto según información dada por los ingenieros del área.

En cuanto al purgado de las torres de enfriamiento, se cuenta con válvulas de compuerta que toman parte del agua caliente que regresa a la torre. Según los niveles de ciertos parámetros fisicoquímicos del agua, se abre la válvula hasta cierta cantidad de vueltas para permitir un menor o mayor flujo de purga y controlar los parámetros rápidamente o mantenerlos a nivel con un purgado continuo. De esta forma, para la torre de calderas del bloque 1, el mínimo de apertura de la válvula es 1/2 vuelta, el máximo son 2 vueltas y la purga continua es a 1 vuelta, mientras que para la torre del bloque 2 la apertura mínima es 1 vuelta, la máxima 2 vueltas y la purga continua a 1 y 1/2 vueltas.

Cuadro 22. Parámetros que se controlan y se mantienen en la torre del bloque 1 por el lab.

Parámetros fisicoquímicos que se controlan y se mantienen en la torre de enfriamiento del bloque 1 por el laboratorio de análisis de aguas durante el período de zafra 2017-2018.

Tipo de análisis	Rango promedio de operación	Valor máximo permisible	Unidades	Observaciones
pH	7.8 - 8.3			
Alcalinidad	280 - 340	< 400	ppm	
Cloruros	70 - 80	<75	ppm	
Sílice	160 - 170	<180	ppm	
Cobre		< 0.5	ppm	Sólo si el análisis de hierro es mayor a 0.5 ppm, lo cual es muy poco frecuente)
Hierro	0.03 - 0.04	<0.5	ppm	
Dureza de calcio	240 - 260	<1800	ppm	
Conductividad	1000 - 1100	<1200	µ mhos	
Cloro libre	0.011 - 0.012	0.05 - 0.4	ppm	
Residual de polímero dispersante 3DT-120	18- 20	30 - 50	ppm	
Conteo bacteriológico	≤ 10^12	≤ 10^5	CFU / mL	
Ciclos de concentración	≤ 3			
Temperatura del purgado	< 48.89		°C	
Temperatura de salida de la torre	< 29.44		°C	
Caudal promedio de purgado	56.21		gal / minuto	
Caudal máximo de purgado	101.46		gal / minuto	

Observaciones:

[1] Los parámetros se mantienen dentro de un rango promedio de operación a partir del purgado que realiza el personal del laboratorio de agua de calderas a través de los análisis fisicoquímicos que realizan.

Cuadro 23. Parámetros que se controlan y se mantienen en la torre del bloque 2 por el lab.

Parámetros fisicoquímicos que se controlan y se mantienen en la torre de enfriamiento del bloque 2 por el laboratorio de análisis de aguas durante el período de zafra 2017-2018.

Tipo de análisis	Rango promedio de operación	Valor máximo permisible	Unidades	Observaciones
pH	7.8 - 8.3			
Alcalinidad	280 - 340	< 400	ppm	
Cloruros	70 - 80	<75	ppm	
Sílice	160 - 170	<180	ppm	
Cobre		< 0.5	ppm	Sólo si el análisis de hierro es mayor a 0.5 ppm, lo cual es muy poco frecuente)
Hierro	0.03 - 0.04	<0.5	ppm	
Dureza de calcio	240 - 260	<1800	ppm	
Conductividad	1000 - 1100	<1200	µ mhos	
Cloro libre	0.011 - 0.012	0.05 - 0.4	ppm	
Residual de polímero dispersante 3DT-120	18- 20	30 - 50	ppm	
Conteo bacteriológico	≤ 10^12	≤ 10^5	CFU / mL	
Ciclos de concentración	≤ 3			
Temperatura del purgado	< 48.89		°C	
Temperatura de salida de la torre	< 29.44		°C	
Caudal promedio de purgado	38.65		gal / minuto	
Caudal máximo de purgado	60.28		gal / minuto	
Fosfatos (3DT-129)	6 - 7	5 - 10	ppm	
Residual (3DT - 222)	40 - 50	60 - 100	ppm	

Observaciones:

[1] Los parámetros se mantienen dentro de un rango promedio de operación a partir del purgado que realiza el personal del laboratorio de agua de calderas a través de los análisis fisicoquímicos que realizan.

h. Generalidades sobre el agua de enfriamiento

El agua de enfriamiento se emplea en diversos equipos del área de calderas y cogeneración, como lo son las bombas de enfriamiento de inyección de agua hacia las calderas, los sistemas hidráulicos de varios equipos, tomamuestras de agua de las calderas, enfriamiento de ventiladores, entre otros.

El agua de enfriamiento puede provenir de dos fuentes: agua de pozos o agua del río Provincias directamente por un sistema de bombas "parábola" que toman el agua de un sistema de piletas; durante la zafra 2017 – 2018 se utilizó agua de pozos. Para el caso del agua de pozos, se cuenta con un tanque elevado auxiliar ubicado en el área de filtros de cachaza que recibe agua del tanque principal ubicado en el quinto nivel de fábrica y suministra el agua de enfriamiento y servicios para el área de calderas. El enfriamiento de los equipos del área de cogeneración: ventiladores inducidos de la caldera 5, unidades hidráulicas y eyectores de los turbogeneradores, entre otros, reciben agua de enfriamiento de la torre de enfriamiento del bloque 2. En el caso especial de los ventiladores inducido y las bombas de inyección de agua, se debe enfriar los rodamientos y chumaceras, en los sistemas hidráulicos se enfría el aceite hidráulico, y en los tomamuestras se enfría el agua o vapor caliente de las calderas.

A pesar de que no todos los equipos se encuentran operando, como en el caso de algunas bombas de inyección de agua hacia las calderas, siempre se mantiene el agua de enfriamiento fluyendo por si ocurriese algún inconveniente con alguna de las bombas que se encuentran operando y haya que arrancar una bomba auxiliar rápidamente.

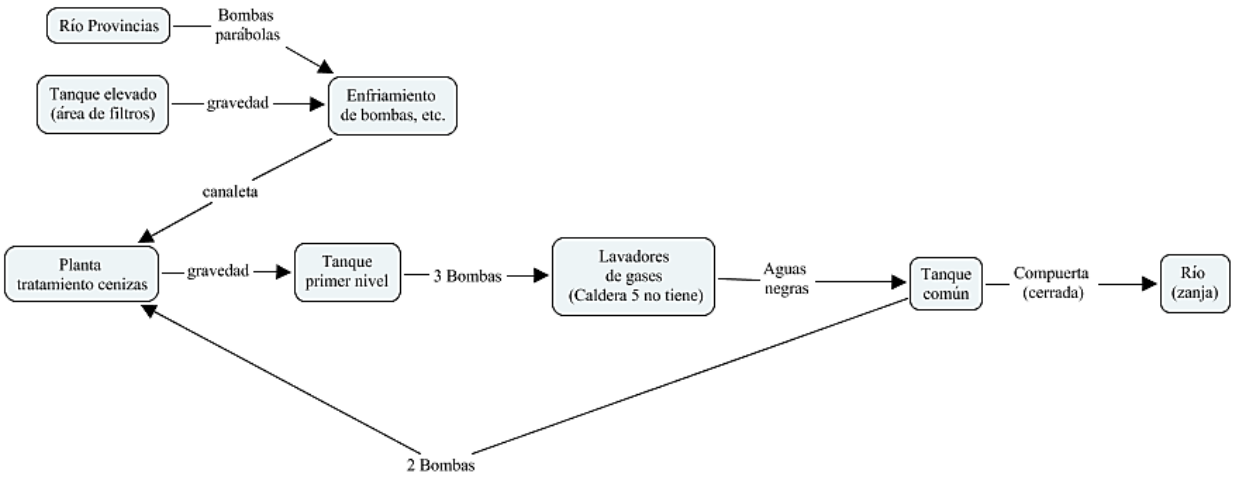
En la actualidad, todos los efluentes de los equipos analizados (a excepción de las purgas de las torres de enfriamiento de los bloques 1 y 2, purga de la planta de agua desmineralizada y salida de las bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de las mesas de bagazo, cuyas aguas se descartan al río) se movilizan por gravedad en un sistema de canales sobre el suelo y con cierto desnivel hacia una planta de tratamiento de cenizas, en dónde se le da tratamiento al agua proveniente para lavado de los gases de combustión en las calderas.

En esta planta de tratamiento, se recolectan en un tanque las aguas de enfriamiento, efluentes de los lavadores de gases y el agua de lluvia que se canaliza desde el techo del ingenio hacia los canales. Esto representa cierta problemática porque se está mezclando agua aún de buena calidad, proveniente del enfriamiento, y de mala calidad, proveniente del lavado de gases, lo cual conlleva a un mayor consumo de químicos para el tratamiento del agua y que pueda recircularse de nuevo al circuito de los lavadores de gases. Además, el enviar el agua de los equipos del proyecto es innecesario, ya que gran cantidad del agua tratada que se obtiene del proceso de la planta de cenizas se desperdicia por rebalse del tanque a la salida del proceso. Por este motivo es más factible el recircular los efluentes de agua de los sistemas dentro del alcance del proyecto hacia otras áreas de mayor provecho.

El agua de enfriamiento de las unidades hidráulicas y eyector de los turbogeneradores TRONA y Condensing, así como el rechazo de la planta DM, se dirigen hacia la zanja al igual que las purgas de las torres de enfriamiento; esta zanja desemboca en el río.

Actualmente el ingenio toma de una línea principal el agua y la ramifica hacia los distintos puntos de enfriamiento. Un caso en particular son las bombas de inyección de agua a caldera, en dónde en algunos casos, por ejemplo, se toma una línea que se divide en hasta cinco tuberías de menor diámetro para enfriar en paralelo los cojinetes, y se toma otra línea para enfriar el aceite de la unidad hidráulica mediante un intercambiador de tubos concéntricos pequeño. Entonces, se tiene de una gran cantidad de tuberías para el enfriamiento correspondiente al equipo que, sumado al bajo calor sensible adquirido por el agua, representa una distribución poco adecuada y conveniente.

Figura 20. Diagrama de efluente del enfriamiento de equipos del bloque 1 a planta de cenizas



(Elaboración propia, 2018)

E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A”

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de chumaceras y reductores en el tándem “A” de molinos

1. Situación actual del ingenio

a. Fuentes de agua en el ingenio

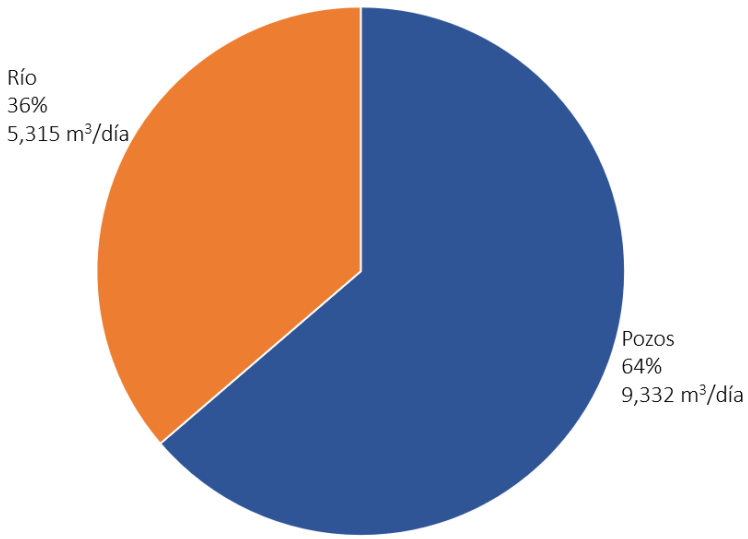
El ingenio en estudio se abastece principalmente de 5 pozos de agua situados a lo largo de la planta, estos son conocidos como: pozo de fábrica, pozo de calderas, pozo de patio de caña, pozo del hotel y pozo del bloque 2, así como de 2 pozos que pasan cerca de las instalaciones de la planta: río Provincias y Guacalate.

El agua que se extrae de las diferentes fuentes se emplea en diversos, los cuales varían desde el enfriamiento de los equipos requeridos en el proceso hasta el lavado de la materia prima, incluyendo las áreas de servicios, entre otros.

Para el área del tándem “A” de molinos, se dispone del uso de agua de un tanque elevado, el cual se abastece del agua proveniente de los pozos, esta agua es distribuida por gravedad hasta llegar a los equipos de reductores planetarios del área en estudio. Además, se usa agua para enfriamiento en los equipos de chumaceras y reductores de velocidad de alta, media y baja, esta agua se recolecta en una serie de piletas y se bombea mediante bombas centrífugas a las que llaman “parábolas”, esta agua proviene del río Provincias.

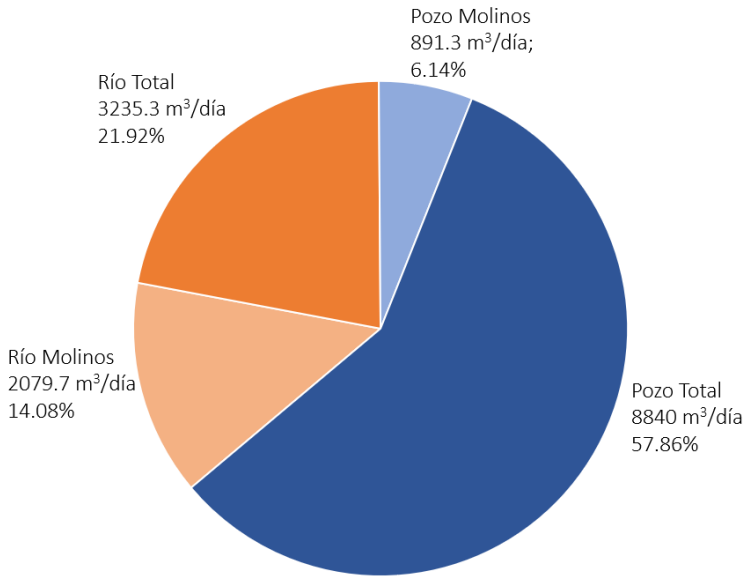
2. Características de los afluentes de enfriamiento usados en el área

Figura 21. Distribución de agua para enfriamiento de equipos



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 22. Distribución consumo de agua en el área de molinos tándem “A”



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 24. Propiedades de agua de pozos y del río

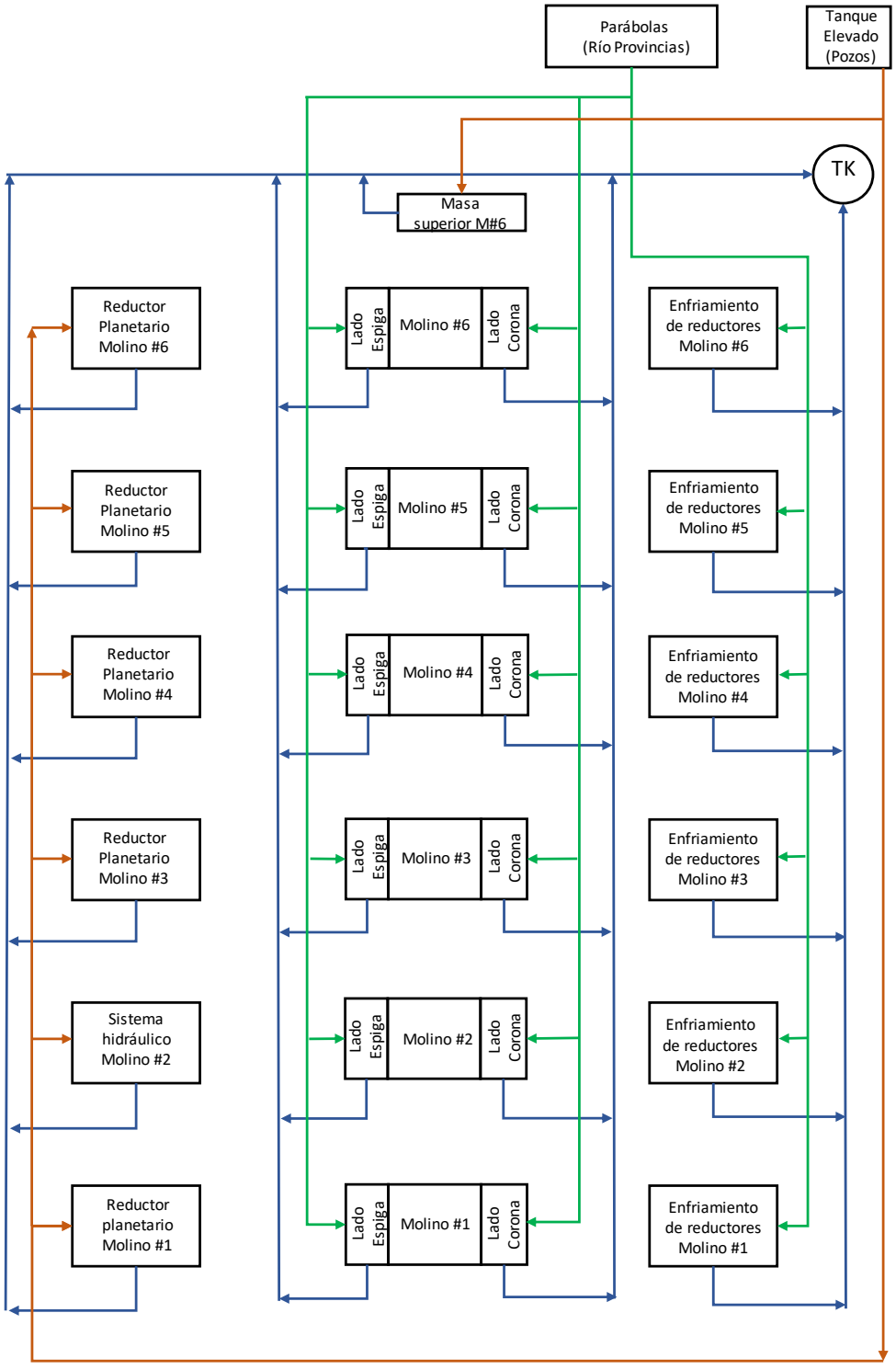
Muestra	Temperatura (˚C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (mg/L)	Hierro (mg/L)
Pozo 4 (Virgen)	24	8.5	335	154	142.8	
	24	8.41	331	151	142.8	
						0.02
Promedio	24	8.455	333	152.5	142.8	
Pozo Hotel	21	7.67	222	102	177.81	
	26	7.52	221	100	124.06	
						0
Promedio	23.5	7.595	221.5	101	150.935	
Parábola	20.5	8.45	185.2	85.7	108.88	
	20	8.63	164.7	75	107.1	
						0.18
Promedio	20.25	8.54	174.95	80.35	107.99	
Tanque tandem A	25	8.54	212	97.3	113.35	
	25	8.33	199.7	92.3	124.06	
						0.05
Promedio	25	8.435	205.85	94.8	118.705	
Tanque tandem B	22	8.46	202	92.8	109.78	
	24	8.41	331	151	142.8	
						0.09
Promedio	23	8.435	266.5	121.9	126.29	
Tanque elevado	25	8.07	302	139	133.86	
	25	7.92	294	134	142.8	
						0.04
Promedio	25	7.995	298	136.5	138.33	
Pozo calderas	22	7.67	198.4	91.3	112.45	
	28	7.36	197.6	90.1	120.487	
						0
Promedio	25	7.515	198	90.7	116.4685	

3. Equipos analizados dentro del alcance del proyecto

Cuadro 25. Descripción de áreas analizadas en el proyecto

Área		Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Molino 6
Reductor	Alta	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Media	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Baja	Sí	No	No	No	No	No
Chumacera lado corona	Maza cañera	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Maza bagacera	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
	Maza superior	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cuarta maza	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Chumacera lado espiga	Maza cañera	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Maza bagacera	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Maza superior	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cuarta maza	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Reductor planetario		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

4. Distribución de agua de río Provincias y de pozos en el tándem “A”



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

5. Generalidades sobre el agua de enfriamiento

En el área del tándem “A” de molinos, se usa agua para enfriamiento de equipos de chumaceras, reductores de velocidad de alta, media y baja y de reductores planetarias. Dicha agua puede provenir de dos fuentes: agua de pozos o de río Provincias; durante el periodo de zafra 2017-2018 se utilizó 2,971 m^3/día en promedio, de la cual el 70% era agua del río Provincias y el 30% restante era agua de pozos.

El agua de pozos se usa para enfriar los sistemas de los reductores planetarios y del sistema hidráulico, mientras que el agua de río Provincias se usa para las chumaceras tanto del lado corona como del lado espiga y para los reductores de velocidad de alta, media y baja.

En la actualidad, la mayor parte de los efluentes son recolectados en una canaleta y enviados a un tanque general del área, de este tanque se distribuye agua para el enfriamiento de los diferentes equipos en el área de patio de caña “A”, el agua restante se desecha al suelo directamente, sin darle un segundo uso. El agua que no es recolectada en el tanque es desechada en el área de chumaceras, estos sistemas emplean el uso de agua como sistema auxiliar externo debido a que se sobrecalientan por la fricción, esta agua se contamina con grasas y aceites y es por esto que no se recupera.

VI. METODOLOGÍA

A. Módulo 1: Área de molinos tándem "B"

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero.

1. Evaluación preliminar

a. Se realizó cuatro visitas de campo los días 15 y 30 agosto, 5 y 19 de octubre para conocer a profundidad los procesos y áreas de trabajo en el ingenio.
b. Durante las visitas se realizó las propuestas de mejora y se delimitó el tema con los encargados de cada área del ingenio.
c. Se identificó y cuantificó los equipos que utilizan agua de enfriamiento en el área de molinos Tándem B.
d. Se identificó las tuberías que alimentan el agua para enfriamiento de cada equipo.
e. Se siguió el recorrido de cada una de las tuberías hasta la fuente de alimentación de agua de cada una, para identificar dichas fuentes.
f. Se identificó y cuantificó las salidas de agua para enfriamiento de los equipos.
g. Con la información de las tuberías y de las fuentes de agua se realizó un diagrama de bloque del sistema actual de agua para enfriamiento.
h. Se discutió y analizó la situación actual del área de molinos con los encargados y jefes de área, para delimitar el tema el cual se centraría en la recirculación del agua utilizada en el enfriamiento de los equipos.

2. Medición de caudal

a. Se seleccionó tres botes de polietileno con una capacidad de 25 L y un bote de polietileno con capacidad de 40 L, los cuales se lavaron con agua y jabón, y se cortaron para facilitar su manipulación.
b. Se midió la temperatura del agua utilizada para la calibración de los botes y se hizo la corrección de la densidad con la temperatura.
c. Se taró un bote de 25 L con una báscula Mettler Toledo IND22T.
d. Se agregó agua al bote (en la báscula) hasta una masa equivalente a un litro (determinado con la densidad obtenida en el paso 2) y se realizó una marca en la parte interior y exterior del bote con un marcador permanente indicando el volumen ocupado por el agua.

e. Sin descartar el agua del bote, se repitió el paso 4 hasta llegar a una masa equivalente de 14 L.
f. Los pasos del 3 al 5 se repitieron para los otros dos botes de 25 L.
g. Se repitió los pasos del 3 al 5 para el bote de 40 L, en el paso 4 se fue agregando una masa equivalente a 5 L en lugar de 1 L y en el paso 5 se llegó hasta una masa equivalente de 35 L en lugar de 14 L.
h. Se realizó mediciones de caudal en cada una de las salidas de agua de los 15 reductores, 40 chumaceras, y del sistema hidráulico durante dos días distintos entre semana de 8:00 A.M a 2 P.M, por cada día se realizaron dos mediciones de caudal, en triplicado, de cada una de las salidas de agua, con tres horas de diferencia entre cada medición.
i. El paso 8 se repitió un sábado con la diferencia que se realizaron tres mediciones de caudal, en triplicado, de cada una de las salidas de agua, con tres horas de diferencia entre cada medición.
j. Por cada medición se registró el volumen, tiempo y temperatura del agua de salida de los equipos.

3. Análisis químico

a. Se lavó y desinfectó botes de vidrio de 1L con etanol al 95% v/v, para la toma de muestras.
b. Para los molinos 2 al 6, se tomó una muestra en la tubería que junta el agua de salida de los reductores, y para el molino 1 se tomó una muestra de agua en la tubería que junta el agua de salida de los reductores desviando el flujo de agua del sistema hidráulico.
c. Se tomó una muestra de agua de salida del sistema hidráulico, y del tanque de recolección de agua para enfriamiento.
d. Para cada uno de los molinos se tomó una muestra de agua en la tubería que junta el agua de salida de las chumaceras del lado de la espiga, y una muestra de agua en la tubería que junta el agua de salida de las chumaceras del lado de la corona.
e. Ph, salinidad, conductividad: Utilizando un multiparámetro PCST estr 35 se determinó el pH, salinidad, y conductividad para cada una de las muestras.
f. Dureza: Utilizando un kit de dureza total MColortest 1.08047.0001, y realizando diluciones de 1:5 se determinó el grado alemán de la muestra (°d), el cua se convirtió a mol/L de $CaCO_3$ para cada una de las muestras.
g. Sólidos suspendidos: Se tomó de nuevo las 16 muestras de agua en las salidas de agua antes mencionadas, y se realizó el análisis de sólidos suspendidos, para cada muestra, con el método TSS APHA 2540, EPA 160.
h. Grasas y aceites: Se tomó muestras con tubos de ensayo para centrífuga, y se centrifugó por 10 minutos a 300 rpm, luego se separó la capa de grasa con una micropipeta y se pesó.
i. Los análisis de pH, dureza, conductividad, y salinidad se realizaron 1 vez por semana, durante tres semanas consecutivas en cada uno de los puntos de muestra antes mencionados.
j. Los análisis de solidos suspendidos, grasa y aceites se realizaron una sola vez.

k. Los equipos y reactivos utilizados para los análisis fueron los siguientes:

1) Equipos utilizados:
   a) Multiparametro marca Oakton
   b) Test de dureza marca Merck
   c) Centrifuga marca Cole-Parmer
   d) HACH DR8900
   e) Mufla marca Thermolyne
   f) Balanza analítica marca BOECO Germany
   g) Cronometro marca Casio
   h) Termómetro de bulbo

2) Reactivos utilizados:
   a) Reactivo H-1 (solución indicadora del Test de Dureza Merk)
   b) Reactivo H-2 (solución valorante del Test de Dureza Merk)

4. Análisis de datos

a. Se determinó el flujo total de agua utilizado en el área de molinos
b. Con los datos obtenidos se realizó un diagrama de flujo del sistema actual de agua para enfriamiento en el área de molinos Tándem B.

5. Sistema de recirculación

a. Se realizó mediciones de los posibles recorridos de la línea de agua del nuevo sistema de recirculación.
b. Se determinó el diámetro y la cedula de la tubería a utilizar en el sistema de recirculación.
c. Se utilizó los cuadros de caída de presión de Cameron (1984) para las perdidas por fricción por tuberías, y se utilizó el método de longitud equivalente para las perdidas por fricción de los accesorios.
d. La potencia de las bombas se determinó utilizando la ecuación de Bernoulli.
e. Se determinó el NPSH del sistema de recirculación, para evaluar si este es mayor al requerido por la bomba.
f. Se seleccionó la línea tomando en cuenta el recorrido de ida y vuelta de la tubería hacia la torre de enfriamiento, espacio disponible en el ingenio, cantidad de accesorios y la bomba a utilizar.

6. Condiciones de operación del agua en el sistema de recirculación

a. Se determinó el flujo máximo de los efluentes de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración con los datos obtenidos de las mediciones de caudal.

b. Con un balance de masa se determinó el flujo de la mezcla de los efluentes de agua de enfriamiento de fábrica, patio de caña y molinos tándem A que entran a la torre de enfriamiento.
c. Con un balance de energía utilizando la ecuación de calor, y utilizando los flujos y temperaturas máximas de cada efluente de agua de enfriamiento de fábrica, patio de caña, molinos tándem A, y tomando en cuenta el agua de compensación del sistema de recirculación y su temperatura, se determinó la temperatura de la mezcla de agua de todas las áreas que ingresan a la torre de enfriamiento.
d. Con los datos de dureza, con la cantidad de agua de reposición del tanque elevado, y con los datos máximos de flujo y dureza de cada efluente de agua de enfriamiento de fábrica, patio de caña, molinos tándem A, se realizó un balance de masa para determinar la concentración final del agua en la piscina de la torre tomando en cuenta las pérdidas en chumaceras y las pérdidas por evaporación y arrastre.
e. Se repitió el balance de masa del paso 4 utilizando la concentración obtenida en el balance anterior.
f. Se repitió el paso 5 hasta no tener una variación en el segundo decimal de la concentración de dureza en tres balances consecutivos.
g. Los pasos 4 – 6 se repitieron para los datos de pH, conductividad, salinidad y sólidos suspendidos.
h. En base al consumo actual de agua de cada área, se dimensionó los equipos del sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado, repitiendo todos los pasos del inciso 5 de la metodología.

7. Calculo estadístico

a. Se promedió los datos de caudal y parámetros medidos durante la zafra 2017 - 2018.
b. Con las funciones de Excel se determinó la desviación estándar de los datos.
c. Con la desviación estándar se determinó el rango de datos para cada parámetro.

8. Inversión

a. Se cotizó los distintos equipos, tuberías y accesorios del sistema de recirculación propuesto en este módulo.
b. Con los datos de la inversión de los equipos y con los factores de acuerdo al total de la inversión de instalación de 20.0%, instalación eléctrica de 7.0%, inversión de instrumentación de 6.0% y un 5.0% de contingencia, se determinó la inversión inicial.
c. Utilizando la potencia de los equipos de los sistemas propuestos, las horas de trabajo y el costo de la energía eléctrica se determinó el costo de operación del sistema.
d. Se determinó los costos de mantenimiento multiplicando por un factor de 0.06, el cual se obtuvo de las tablas del Perry 1997.

B. Módulo 2: Área de patio de caña

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento de patio de caña en un ingenio azucarero

1. Evaluación de la gestión actual del agua en el ingenio

a. Se realizó cuatro visitas para conocer los procesos realizados en las diferentes áreas de producción del ingenio.
   1) Martes 15 agosto 2017
   2) Miércoles 30 de agosto 2017
   3) Jueves 5 de octubre 2017
   4) Jueves 19 de octubre 2017

b. Debido a que el ingenio no contaba con información relacionada a su gestión de agua, se realizaron seis recorridos en la planta con diferentes operarios y jefes de cada área para conocer:
   1) Las fuentes de agua que abastecen al ingenio.
   2) Los tanques de recepción de agua principales.
   3) Los usos que se le dan a los diferentes tipos de agua, según su fuente y propósito.
   4) Sistemas de recirculación actuales y sus torres de enfriamiento.
   5) Trayectorias generales de cada tipo de agua.

c. Al haber discutido la información anterior con los jefes de planta del ingenio, se determinó la delimitación del proyecto, que se centraría en el agua de enfriamiento de equipos de planta, proveniente del Río Provincias y Pozos.

d. Se realizó siete recorridos en la planta con operarios y jefes de cada área para establecer:
   1) Cantidad y localización de equipos que utilizan agua de enfriamientos del Tanque Elevado (Río Provincias y Pozos).
   2) Trayectos del agua proveniente del Tanque Elevado.
   3) Localización de efluentes y sus puntos finales.

e. Se identificaron cinco áreas principales que utilizan agua de enfriamiento provenientes del Tanque Elevado. Se realizaron dos visitas para establecer:
   1) Flujos principales y tuberías del sistema de enfriamiento en Tándem A y Tándem B de Patio de caña.
   2) Posibles puntos de muestreo para medir caudal y propiedades físicas y químicas.
   3) Metodología de la toma de muestras.

f. Se realizó un diagrama de bloques del agua del sistema de enfriamiento actual en Patio de Caña.

2. Medición de caudal

a. Se aforaron tres botes proveídos por el ingenio, utilizando una balanza y la densidad del agua a 30 ºC:
   1) 2 botes de 14 L de capacidad, con intervalos de 1 L.
   2) 1 bote de 35 L de capacidad, con intervalos de 5 L.

Para esto, se vertió cierta cantidad de agua en cada bote, se pesó el contenido de agua y se determinó el volumen utilizando su densidad. Este proceso fue repetido con los intervalos mencionados para graduar cada recipiente.

b. Se midió el volumen, tiempo y temperatura de los once efluentes durante tres días diferentes de la zafra 2018, utilizando los botes calibrados, un cronómetro y un termómetro de bulbo. En cada día, las mediciones se realizaron tres veces, en el transcurso de las 8:00 horas y 14:00 horas, en los siguientes días:
   1) Jueves 15 de febrero de 2018
   2) Miércoles 7 de marzo de 2018
   3) Sábado 7 de abril de 2018

Utilizando los valores de volumen y tiempo, se calculó el flujo volumétrico de cada efluente. Las mediciones fueron realizadas directamente en las salidas del agua de enfriamiento de equipos, excepto en el reductor de la desfibradora, cuyo caudal tuvo que ser calculado por diferencia.

3. Toma de muestras

a. Se utilizaron recipientes de Pyrex con tapón de polipropileno de 500 mL de capacidad. Cada frasco fue lavado con agua y jabón y luego con agua destilada.
b. En el punto de muestreo, el frasco fue enjuagado tres veces con el agua a analizar.
c. Se registró la temperatura del agua inmediatamente después y luego el frasco fue cerrado y trasladado al laboratorio de análisis.

4. Análisis químicos

Para los once puntos de muestra en Patio de Caña, se determinaron los siguientes parámetros: pH, conductividad, salinidad, dureza, sólidos suspendidos, grasas y aceites. Estos fueron realizados utilizando muestras de 500 mL. Cada análisis se realizó en dos días diferentes de zafra, excepto las determinaciones de sólidos suspendidos y grasas y aceites, que se realizaron solo una vez.

a. Equipos utilizados:
   1) Multiparámetro TESTR 35 SERIES marca Oakton

2) Test de dureza marca Merck Mcolortest
3) Centrífuga marca Cole-Parmer
4) HACH DR8900
5) Mufla marca Thermolyne
6) Balanza analítica marca BOECO Germany
7) Cronómetro marca Casio
8) Termómetro de bulbo

b. Reactivos utilizados:
   1) Reactivo H-1 (solución indicadora del Test de Dureza Merk)
   2) Reactivo H-2 (solución valorante del Test de Dureza Merk)

c. pH, conductividad y salinidad: Estos parámetros se determinaron utilizando un equipo multi-parámetro marca Eutech. Se tomaron 50 mL de cada muestra y el equipo se sumergió hasta que el valor en pantalla se estabilizara. Entre cada toma de muestras, el equipo se lavó con agua destilada y luego con el agua de la muestra.

d. Dureza. Para determinar la dureza se utilizó un Test de Dureza Merck. Utilizando una jeringa ($\pm$0.5 mL) se tomaron 5 mL de cada muestra. Se agregó el indicador y luego se valoró la solución con una solución de EDTA, utilizando una jeringa ($\pm$0.05 ºd). Para el último análisis se realizaron diluciones 1:5 de la muestra, utilizando 1 mL de muestra y 4 mL de agua destilada, por lo que los resultados fueron multiplicados por un factor de 5. Los resultados de la dureza se determinaron en ºd (Grados alemanes). Para convertirlos a mg/L, se corrigieron los resultados por un factor de 17.85.

e. Grasas y aceites. Se agregó 6 mL de cada muestra en tubos de ensayo para centrífuga. Los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. Mediante observación, se evaluó la presencia o ausencia de grasas y aceites.

f. Sólidos suspendidos. Se utilizó el método de sólidos suspendidos totales en agua.

g. Se tomaron 100-300 mL de muestra.

h. Se lavaron filtros de 47 µm porosidad con agua destilada. Luego, fueron llevados a peso constante, utilizando una mufla a 105 ºC.

i. La muestra se filtró en un sistema de filtración al vacío. Luego, se secó en una mufla a 105 ºC por 1 hora. Los filtros se dejaron enfriar en una desecadora. La cantidad de sólidos suspendidos fue determinada por diferencia de masas, antes y después de la filtración.

5. Diagrama del sistema de enfriamiento propuesto

a. Se realizó un bosquejo de las posibles alternativas de disposición de tuberías para retornar el agua a un tanque de recepción general, considerando los espacios disponibles, la distancia del trayecto y la diferencia de alturas entre puntos finales.

b. Se calculó el caudal promedio que circularía en cada tubería, con los resultados de las mediciones de caudal.
c. Se determinó el diámetro de tubería necesario para cada tubería, utilizando el caudal promedio. Se verificó si era posible alterar el diámetro de tubería para que el rango de velocidad permisible (1-3 m/s) se cumpliera también para las condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.
d. Para los trayectos que se seguirían a partir de tuberías ya construidas, se determinó si estas contaban con el diámetro necesario para que la velocidad del agua estuviera en el rango de 1-3 m/s. De no ser así, se determinó la reducción o expansión necesaria para ajustar la tubería al diámetro requerido.
e. Se determinó el tipo de accesorios, válvulas e instrumentos de control requeridos en cada trayecto.
f. Se realizó un diagrama P&ID y un diagrama acotado con las longitudes de cada tubería del sistema propuesto.
g. Se estableció dos puntos en cada trayecto para utilizar la ecuación de Bernoulli. Para determinar las pérdidas totales por fricción, se utilizó el método de diámetro equivalente.
h. Para los sistemas de tubería por gravedad, se determinó la presión requerida en cada trayecto para que el agua pudiera trasladarse sin necesidad de bomba.
i. Para los sistemas con bomba, se determinó la cabeza requerida para realizar el trayecto, utilizando la ecuación de Bernoulli.
j. Se verificó que la presión máxima manejada en las tuberías fuera menor al límite máximo soportado por una tubería de acero al carbón cédula 40 (ASTM A53).
k. Se determinó el NPSH disponible en el sistema con bomba, tomando en cuenta las pérdidas de fricción en la succión, la presión ejercida sobre el agua en el tanque, la altura de agua en el tanque, la presión de vapor y densidad del agua.
l. Se solicitó las bombas a los proveedores de Goulds Pumps, indicando los requerimientos de caudal, cabeza, diámetros de tubería, material y tipo de fluido.
m. Utilizando la curva característica proveída por Goulds Pumps, se determinó el modelo de la bomba, la potencia hidráulica, la potencia del motor, la eficiencia y el NPSH requerido por la bomba.
n. Para los casos en que se identificaron dos alternativas de trayecto, se realizó los pasos del 2-12. Se seleccionó el trayecto cuya inversión de material, equipos y accesorios fuera menor (consultar sección I de la metodología).

6. Dimensionamiento de tanques

a. Se determinó la altura y área disponible para construir el tanque de almacenamiento, consultando con los ingenieros la disponibilidad de espacio en patio de caña. A partir de estos datos, se estableció un diámetro del tanque.

b. Utilizando el flujo máximo del sistema, se calculó el volumen efectivo de almacenamiento del tanque, a partir de un tiempo de residencia de 2 minutos.
c. Se estableció una altura de guardanivel para la bomba, equivalente a dos veces el diámetro de descarga, para asegurar que esta nunca se quede vacía.
d. Se determinó el BCL (nivel de capacidad inferior) y TCL (nivel de capacidad superior) del tanque, utilizando como referencia el diámetro de la tubería de descarga y la altura requerida para el guardanivel.
e. Se calculó el volumen real del tanque, utilizando la altura total (TCL + diámetro de descarga).
f. De acuerdo al estándar "Tanques de Acero Soldados para Agua" del American Water Works Association, se estableció el grosor de la lámina de acero y las dimensiones de la base y la escalera del tanque.
g. Se determinó la cantidad de recubrimiento epóxico y anticorrosivo necesario para proteger el tanque, utilizando las fichas técnicas del producto proveídas por Sherwin Williams.

7. Determinación de la inversión

a. Utilizando el diseño propuesto, se realizó una lista de equipos, tuberías, válvulas y accesorios requeridas para el sistema en Patio de Caña.
b. Se determinó la longitud total de tuberías requeridas para el sistema, el número de bombas, válvulas y accesorios.
c. Se realizó cotizaciones de las tuberías, accesorios y equipos necesarios.

C. Módulo 3: Área de fábrica

Evaluación y propuesta de recirculación de los efluentes de hidrolavadora, turbogenerador y sistemas de enfriamiento de fábrica en un ingenio azucarero.

1. Listado de equipos y reactivos

a. Equipos [1]
    1) Multiparámetro marca Oakton
    2) Test de dureza marca Merck
    3) Centrífuga marca Cole-Parmer
    4) HACH DR8900
    5) Polarímetro

6) Mufla marca Thermolyne
7) Balanza analítica marca BOECO Germany
8) Cronómetro marca Casio
9) Termómetro de 0 - 150°C

[1] Las especificaciones del multiparámetro, HACH y del Test de dureza se encuentran en la página 574 y 575.

b. Reactivos
   1) Octapol grado laboratorio
   2) Reactivo H-1 (solución indicadora)
   3) Reactivo H-2 (solución valorante)

2. Evaluación de la administración del agua en el ingenio

a. Se realizó cuatro visitas para conocer los procesos de producción en las siguientes áreas del ingenio: patio de caña, molinos, fábrica, calderas y cogeneración.
b. Se realizó recorridos en la planta en los meses de agosto y octubre de 2017 con operarios y jefes de área. A partir de estos recorridos se identificaron las fuentes de abastecimiento de agua del ingenio, los usos en cada área y los sistemas de recirculación actuales.
c. Con los encargados del proyecto en el ingenio se determinó que el proyecto se centraría en la reutilización del agua proveniente de un río y pozos.

3. Identificación de efluentes de agua

a. Se realizó siete visitas en los meses de agosto, octubre y noviembre de 2017 para identificar equipos, operaciones, trayectos tuberías que se abastecen del agua del tanque elevado y río.
b. Para el área de fábrica y refinería se realizaron 2 visitas en las cuales se identificaron las tuberías de salida y canaletas por las cuales los efluentes de agua descargan al suelo o se dirigían al drenaje. El número de salidas identificadas en las cuales era posible tomar mediciones fueron once.
c. Se realizó un diagrama de bloques del agua del sistema de enfriamiento actual en fábrica.

4. Medición de caudales

a. Se realizó una visita al taller de desechos del ingenio para seleccionar los recipientes en los que se midió el volumen del agua de salida.
b. Se graduó dos barriles y dos recipientes de plástico cada 1000 mL, utilizando una báscula. El recipiente se colocó en la báscula y se vertió cierta masa de agua. Para conocer el volumen se utilizó la

densidad del agua a la temperatura ambiente (aproximadamente 28°C). Además, se cortó un recipiente de plástico a la mitad para obtener dos bandejas y poder medir en salidas cercanas al suelo.

c. Se trabajó en triplicado y se anotó en la hoja de registro la hora, día, volumen y temperatura de salida del agua en los 11 puntos. Se utilizó un cronómetro, un recipiente graduado y un termómetro de alcohol. Las mediciones se tomaron el 1 de marzo, 13 de marzo y 24 de marzo de 2017 en un periodo de 8:00 a 14:00 horas.
d. Se determinó el caudal a partir de los datos de tiempo y volumen obtenidos en los tres días de muestreo y también se calculó el flujo volumétrico promedio en cada punto.

5. Toma de muestras

a. Se seleccionó frascos de vidrio de borosilicato Pyrex con tapón de polipropileno y anillo de vertido de capacidad de 500 mL.
b. Los frascos fueron lavados con detergente de laboratorio y posteriormente se enjuagaron con agua destilada.
c. Se colocó el frasco limpio en la salida de agua y se enjuago tres veces con el agua de interés.
d. Se tomó 500 mL de muestra para el análisis de las propiedades físicas y químicas y se registró la temperatura de salida con un termómetro de alcohol. El frasco con muestra se cerró y conservó a una temperatura de 4℃ respetando el tiempo de conservación según el análisis a realizar.
e. Se anotó en la hoja de registro la hora, día, identificación del punto de muestreo y temperatura.

6. Análisis químicos y físicos

Para los once efluentes identificados en el área de fábrica se realizaron los siguientes análisis.

a. Medición de pH, salinidad y conductividad

1) Se determinó el pH, conductividad y salinidad de la muestra en duplicado con un 35-series testrs Multiparámetro marca Oakton. El instrumento fue calibrado mediante el procedimiento que se muestra en el manual.
2) Se colocó 50 mL de agua destilada en un beaker de vidrio de 100 mL y se sumergió el sensor.
3) Se colocó 50 mL de la muestra a analizar en un beaker y se sumergió el sensor. Se anotó el valor de pH, salinidad y conductividad desplegado en pantalla. La medición de pH, salinidad y conductividad se realizó en duplicado.
4) Se enjuagó con agua destilada el sensor y se dejó sumergido en agua destilada hasta la siguiente medición.

b. Medición de dureza total

1) Se utilizó un test de dureza total marca Merck.
2) Se tomó el pH de la muestra para confirmar que este estuviera en el intervalo de 6-8.
3) Se enjuagó varias veces el recipiente de ensayo con la muestra.
4) Se colocó 5 mL de muestra con una jeringa de plástico graduada en el recipiente de ensayo. Se añadió 3 gotas de reactivo H-1 (solución indicadora) al recipiente de ensayo y se agito por balanceo.
5) Se colocó la pipeta de valoración suelta sobre el frasco de reactivo H-2 (solución valorante). Se tiro lentamente del embolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde inferior de la junta negra del embolo coincidió con la raya que marca cero en la escala.
6) Se sacó la pipeta de valoración y se rozó brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso de líquido adherido.
7) Lentamente y agitando por balanceo se colocó con gotas la solución valorante a la muestra, hasta que su color viro de rojo a verde pasando por violeta grisáceo (poco antes del viraje).
8) Poco antes de llegar al viraje de color se esperó unos segundos después de cada gota.
9) En el borde inferior de la junta negra del émbolo se leyó el valor de medición en °d en la pipeta de valoración.
10) Se determinó la dureza total en ppm mediante la siguiente conversión:
11) $1 \text{ grado alemán } °\text{d} = 17.85 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{de } CaCO_3$

Se realizó diluciones 1:5 de la muestra, utilizando 1 mL de muestra y 5 mL de agua destilada. El resultado obtenido se multiplico por un factor de 5. Esta determinación se realizó en duplicado.

c. Medición de grasas y aceites

1) Se tomó con una pipeta Pasteur 6 mL de muestra y se vertió en un vial.
2) Se llenó varios viales con diferentes muestras y se introdujeron a la centrifuga marca Cole-Parmer a una velocidad de 300 rpm durante 10 minutos.
3) Al concluir el tiempo de agitación los viales se retiraron de la centrifuga y se observó si existía alguna separación de fases. A cada vial se le tomó una fotografía, ver figura 38.
4) Visualmente las 11 muestras analizadas no mostraron separación de fases por lo que no se tuvo que cuantificar las grasas y aceites. Se realizó una vez el análisis.

d. Medición de turbidez

1) Se analizó la turbidez en una salida, ya que se observó que el agua de la muestra contenía partículas en suspensión y se perdía el grado de transparencia.
2) Se utilizó el método nefelométrico 8237 del HACH DR890, cuyo procedimiento es el siguiente:
   a) Se encendió el HACH DR890.
   b) Se presionó el botón "PRGM" y se presionó "95".
   c) Se llenó la celda con 10 mL de agua des ionizada.
   d) Se introdujo la celda al interior del instrumento y se cerró.
   e) Se presionó ZERO, en pantalla se observó 0 FAU.
   f) Se llenó otra celda con 10 mL de muestra.
   g) Se introdujo la celda al interior del instrumento y se cerró.
   h) Se presionó READ y se leyó en pantalla el valor FAU.

e. Medición de polarimetría

Se utilizó el procedimiento que se muestra en la Guía: Análisis de Pol por el Método HORNE, proporcionada por el ingenio (ver página 545)

1) Se trasladó entre 100-150 mL de muestra a un beaker.
2) En un Erlenmeyer de 250 mL se trasladó la muestra y se adiciono Octapol activado en una porción de 4.0 a 8.0 gramos.
3) Se tapó el Erlenmeyer con muestra y se agito mecánicamente durante un tiempo de 10 a 15 segundos.
4) Se colocó en un vaso de vidrio papel filtro y se vertió aproximadamente 5 mL de muestra para lavar el vaso que recolecta la muestra, luego se decantó.
5) Se continuó adicionando muestra al vaso hasta recolectar aproximadamente 75 mL de muestra filtrada.
6) Se verificó que el polarímetro estuviera en 0° Pol.
7) Se añadió la muestra a través del tubo polarimétrico y se registró el valor de grados Pol.
8) Se determinó en triplicado la concentración de azúcar en la muestra en mg/L, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{concentración de azúcar } \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right] = 2600 \times {}^{\circ}\text{POL}$$

f. Medición de sólidos suspendidos

Se utilizó el método APHA de sólidos suspendidos totales 2540 D. Este análisis se realizó una vez para cada muestra.

1) Preparación de filtros
   a) Se colocó los discos en el embudo Buchner. Se aplicó vacío y se enjuagó con tres volúmenes sucesivos de 20 mL de agua destilada. Se aplicó vacío hasta haber retirado el agua.
   b) Se colocó los filtros en una caja Petri de vidrio y estos se introdujeron en la mufla marca Thermolyne a una temperatura de 104±1℃ durante una hora.
   c) Se removió los filtros de la mufla y se colocaron en una desecadora hasta alcanzar la temperatura ambiente.
   d) Cada filtro se colocó en una balanza analítica marca BOECO Germany, se registró la masa.

g. Procedimiento de TSS

1) Se armó el sistema de filtración, el cual se compuso de un embudo buchner, un kitasato, una manguera y la línea de vacío.
2) Se colocó el papel filtro en el embudo, se agito la muestra manualmente y se vertieron continuamente con una probeta pequeños volúmenes de la muestra, hasta un volumen final de 100 - 300 ml. Entre cada porción vertida de la muestra, se realizó tres enjuagues con 20 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo entre lavados.
3) Se continuo la succión por tres minutos después completar la filtración.
4) Se trasladó cuidadosamente el filtro a la caja Petri de vidrio.
5) Se colocó el filtro en la mufla marca Thermolyne a una temperatura de 104±1℃ durante una hora.
6) Se removió los filtros de la mufla y se colocaron en una desecadora hasta alcanzar la temperatura ambiente.
7) Se pesó cada filtro en una balanza analítica marca BOECO Germany.
8) Se calculó los sólidos suspendidos totales mediante la siguiente ecuación:

$$\text{TSS}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{A} - \text{B}}{\text{V}}$$

Dónde: A es la masa del filtro con el residuo seco de la muestra (mg), B es la masa del filtro seco (mg), V es el volumen filtrado de la muestra (L).

7. Propuesta del sistema de recirculación

a. Según los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos, se determinó que cinco efluentes del área de fábrica se integrarían al circuito de recirculación.
b. Se realizó visitas de campo para ubicar el área donde se distribuirían las líneas de tuberías requeridas para transportar los efluentes de agua al tanque de recepción en Fabrica y en Patio de caña, Asimismo, se determinó el lugar adecuado para ubicar la torre de enfriamiento, tomando en cuenta el área disponible y el fácil acceso en las etapas de construcción, operación, mantenimiento.
c. Se realizó un diagrama preliminar en papel de los siguientes trayectos de tuberías:
    1) Efluente de cristalizadores hacia tanque de fábrica.
    2) Efluente de bombas de vacío hacia tanque de fábrica.
    3) Efluente de centrifugas modelo G8 hacia tanque de fábrica.
    4) Efluente de hidrolavadora hacia tanque general en Patio de Caña.
    5) Efluente del tanque de fábrica hacia tanque general en Patio de Caña.
    6) Efluente de tanque general hacia torre de enfriamiento.
d. De acuerdo al trayecto de tuberías propuesto para cada efluente se determinó el largo de tubería, equipos, accesorios y válvulas requeridos.
e. Se determinó con la ecuación de continuidad el diámetro de tubería requerido según el caudal y velocidad establecida.
f. Con la tabla de “Dimensiones, capacidades de tuberías de acero” se seleccionó el diámetro nominal de tubería y se comprobó que la velocidad del fluido estuviera en un rango de 5-10 ft/s para el flujo volumétrico máximo, mínimo y promedio.
g. Se determinó las pérdidas por fricción totales en cada trayecto.
h. Se determinó con la ecuación de Bernoulli la cabeza total requerida para la bomba.
i. Se consultó con un proveedor de bombas centrifugas el modelo sugerido para la cabeza total, flujo volumétrico y características del fluido proporcionadas.
j. Se comprobó que el NPSH disponible sea mayor al requerido, conociendo la presión de vapor del agua.
k. Se realizó un PID y diagrama en vista de perfil y elevación con los accesorios y válvulas requeridos para cada trayecto.
l. Se determinó la potencia del equipo de bombeo.
m. Se seleccionó la bomba más adecuada según las condiciones de caudal de bombeo, la altura dinámica total del sistema, las características del líquido (temperatura, densidad, pH), material requerido, instalación de la bomba.

8. Parámetros de diseño de torre de enfriamiento

a. Se seleccionó el tipo de torre de enfriamiento según los requerimientos de operación.
b. Se obtuvo las condiciones meteorológicas de humedad relativa y temperatura ambiental registradas en el departamento de Escuintla durante la zafra. Para ello, se consultó la base de datos de la estación meteorológica "Santa Ana", del 13/11/2017 al 15/04/2018.
c. Con la humedad relativa máxima y la temperatura máxima se determinó la temperatura de bulbo húmedo de ingenio. Se utilizó la carta psicométrica "Fly Carpet".
d. Se determinó las condiciones de entrada del agua a la torre. Esto se explica a detalle en el módulo "Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero".
e. Se estimó la cantidad total de agua que se desea retornar y la temperatura de aproximación y el rango.
f. Se realizó un balance de masa y energía para determinar el flujo de aire seco requerido en la torre de enfriamiento.
g. Se determinó al área transversal de la torre.
h. Se determinó el factor característico para el relleno laminar seleccionado.
i. Se determinó la altura de una unidad de transferencia y el número de unidades de transferencia, con estos parámetros se calculó la altura requerida de empaque.
j. Se determinó la altura del colector de agua de la torre de enfriamiento, tomando en cuenta la dimensión de la tubería de salida del agua.
k. Se tomó como referencia un modelo de aspersores, con lo cual se determinó la cantidad de aspersores, su distribución, el diámetro y la presión en cada aspersor. Se definió la altura requerida entre el empaque y los aspersores.
l. Se determinó la altura total de la torre de enfriamiento tomando en cuenta la altura del empaque, del colector y la distancia entre el empaque y aspersores.
m. Se determinó la eficiencia térmica de la torre y la capacidad del ventilador.
n. Se determinó las pérdidas por evaporación, arrastre y fugas.
o. Se sugirió la implementación de sensores de temperatura a la entrada y salida del agua de la torre y un sensor de humedad en la salida del aire.
p. Se buscó las especificaciones de la bomba requerida para la alimentación y distribución del agua en la torre.
q. Se determinó la inversión de la torre de enfriamiento.

9. Inversión para el sistema de recirculación propuesto en fábrica

a. Se determinó el costo de los accesorios del sistema de recirculación, consultando su precio con proveedores (ver cotización de página 502-505, en anexos).
b. Se determinó el costo de los tramos de tuberías según su largo y diámetro, se consultó los precios en la base de datos del ingenio.
c. Se determinó el costo de los equipos del sistema. Para ello, se envió las especificaciones obtenidas en los cálculos, a los proveedores (ver cotización a partir de página 531, en anexos).
d. Se determinó la inversión total para el sistema de recirculación de fábrica, sumando los costos de accesorios, tuberías y equipos.

10. Determinación de desviación estándar

a. Se calculó la desviación estándar del promedio obtenido de flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, salinidad, dureza total y sólidos suspendidos. Para ello, se utilizó la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (Xi - X)^2}{n - 1}}$$

La desviación obtenida para cada valor se muestra del Cuadro 192 al Cuadro 228, en anexos.

b. Los valores de incertidumbre de los instrumentos con los que se obtuvieron las mediciones (ver Cuadro 181 al Cuadro 182) son pequeños comparados con la desviación estándar obtenida para el promedio. Es por ello, que para determinar el rango se utilizó la desviación estándar.

D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración

Evaluación y propuesta de un circuito de recirculación de los efluentes de agua de purgado y enfriamiento en los equipos de las áreas de calderas y cogeneración de un ingenio azucarero.

1. Listado de equipo y reactivos utilizados.

Listado de equipos

a. Balanza de suelo
   1) Unidad: kilogramos, gramos, libras.
   2) Incertidumbre: ± 0.01 kg
b. Balanza analítica
   1) Unidades: gramos
   2) Incertidumbre: ± 0.0001 g
c. Recipiente plástico rectangular
   1) Volumen: 25 L
   2) Incertidumbre: no aplica
d. Termómetro de bulbo
   1) Unidad: Celsius, Fahrenheit
   2) Incertidumbre: ± 0.5 °C
   3) Rango: -10 a 110 °C
e. Cronómetro de bolsillo Casio ®
   1) Unidad: segundos
   2) Incertidumbre: ± 0.14 s
f. Frascos de vidrio Pyrex ®
g. Balón aforado Pyrex ®
   1) Volumen: 25 mL
   2) Incertidumbre: ± 0.12 mL
h. Viscosímetro Ostwald
i. Baño térmico de agua
   1) Unidades: Celsius
   2) Incertidumbre: ± 0.05 °C
j. Multiparámetro Testr 35 Series.
   1) Marca: Eutech Instruments
   2) Unidades: pH, conductividad, salinidad
   3) Incertidumbres: ± 0.01 pH, ± 1µS/cm, ± 1 ppm salinidad
k. Matraz kitasato
   1) Volumen: 250 mL
l. Probeta
   1) Volumen: 100 mL
   2) Incertidumbre: ± 0.1 mL
m. Papel filtro
   1) Marca: Whatman ®
   2) Diámetro de poro: 1.5 µm.
n. Cajas Petri
o. Horno tipo mufla
   1) Unidades: Celsius
   2) Incertidumbre: ± 0.1 °C
p. Centrifugadora de laboratorio
   1) Unidades: revoluciones por minuto.

Listado de reactivos

a. Cloruro de sodio
   1) Marca: Merck ®
   2) Pureza: 99.99%
b. Acetona
   1) Grado comercial
c. Kit de dureza MColorTest ™
   1) Marca: Merck ®
d. Equipo para análisis colorimétrico
   1) Marca: Hach DR/890

2. Medición de caudal

a. Para graduación de recipientes:
   1) Se cortó la parte superior de un recipiente rectangular de plástico de 25 L con una sierra eléctrica y se lavó con agua y jabón para eliminar cualquier suciedad presente; se utilizó un envase vacío de reactivo disponible en el ingenio.
   2) Empleando una balanza se taró el recipiente rectangular limpio y seco, procurando que la balanza estuviese nivelada.
   3) Se agregó una masa conocida de agua al recipiente plástico y se realizó una marca con marcador permanente en su interior al nivel del líquido. Las marcas realizadas coinciden aproximadamente con 1 litro de separación entre ellas para una temperatura de alrededor de 28°C medidas con un termómetro de bulbo de alcohol en escala Celsius.
   4) Se repitió el procedimiento anterior hasta tener 3 recipientes graduados.

b. Para la medición de caudal:
   1) En el punto de muestreo se colocó el recipiente graduado y se llenó hasta un volumen conocido mientras otra persona tomó el tiempo requerido para llegar a dicho volumen con un cronómetro de bolsillo.
   2) Para puntos de difícil acceso, por ejemplo, en los que no se pueda ingresar el recipiente aforado por su cercanía al suelo, se utilizó de una manguera o una bandeja para recibir y trasladar el agua hacia un punto de fácil acceso.
   3) Se repitió el procedimiento en triplicado y en tres días diferentes a distintas horas, preferentemente por la mañana, medio día y la tarde.

3. Medición de temperatura

La medición de la temperatura se realizó con un termómetro de bulbo de alcohol en escala Celsius. Las mediciones se realizaron en el mismo instante de la medición del caudal y de toma de muestras para su análisis físico y químico. En algunos casos no se disponía de este tipo de termómetro, por lo que se empleó uno auxiliar de mercurio en escala Fahrenheit, o bien, una termocupla en escala Celsius previamente calibrada. A continuación, se detalla el procedimiento a seguido:

a. Se ingresó el termómetro o termocupla dentro del fluido hasta una profundidad y posición de forma tal que se encuentre al centro del volumen del líquido evaluado y sujetándolo desde el extremo opuesto para no afectar la medición de temperatura, observando que no se encuentre sucio o dañado.
b. Se esperó hasta que se estabilizara la medición de la temperatura por un mínimo de un minuto y se anotó la lectura evitando errores de paralelaje.

c. Se repitió el procedimiento anterior para los tres días de medición diferentes en los efluentes de los equipos que se encontraban en operación el día de la visita.

4. Toma de muestras para los análisis fisicoquímicos del laboratorio

La toma de muestras se realizó bajo condiciones estériles y procurando mínima contaminación externa, considerando como base los lineamientos dados por (EPA, 2007) y (EPA, 1983), para que la muestra tomada sea representativa del efluente en sí. Para la preparación de los frascos y la toma de muestras debe seguirse el siguiente procedimiento:

Para la preparación de los frascos:

a. Se lavaron los frascos de vidrio Pyrex ® por fuera y por dentro con agua y jabón, procurando retirar cualquier traza de jabón remanente.
b. Se enjuagó el interior de los frascos con agua destilada.
c. Se ingresó los frascos boca abajo con sus tapas a una autoclave por media hora a una temperatura de 110°C.
d. Se permitió enfriar los frascos dentro de la autoclave y se verificó que se estuvieran secos previo a retirarlos.
e. Con guantes se tomaron los frascos boca abajo y se roscaron las tapas respectivas.
f. En dado caso de no usar la autoclave, se debe esterilizar con alcohol y dejar evaporar su contenido residual.
g. Se almacenaron los frascos en cajas de cartón con protección hasta la toma de la muestra.

Para la toma de muestras:

a. Se enjuagó el interior del frasco con el efluente de agua y se descartó esta primera lavada.
b. Se tomó la muestra colocando el frasco para recibir directamente el agua y hasta que se llenará completamente (para evitar acidificación), después se cerró el frasco evitando cualquier contaminación externa.
c. Se identificó el frasco para el efluente en específico con un marcador permanente, denotando la fecha de toma de la muestra y su temperatura.
d. Se transportó las muestras hasta un refrigerador en una hielera con hielo y sal a una temperatura de 4°C para preservar sus propiedades a caracterizar según lo establecido por (HACH, 2000).
e. Se repitió el procedimiento anterior para tres días de medición diferentes en los efluentes de los equipos que se encontraban en operación el día de la visita.

5. Determinación de la densidad

Para medición de la densidad del agua se utilizó un balón aforado de 25 mL, aunque es recomendable el uso de un picnómetro. A continuación, se detalla el procedimiento a seguido:

a. Se lavó con agua y jabón y secó con papel el balón aforado a utilizado, procurando eliminar todo el jabón remanente.
b. Se taró el peso del balón en una balanza analítica.
c. Se ingresó la muestra de agua dentro del balón con un beaker hasta la marca indicada en el balón aforado.
d. Se pesó el balón aforado junto con la masa de agua en la balanza analítica y se anotó su valor. Mediante diferencia con el peso del balón vacío, se determinó la masa de agua.
e. Se tomó la temperatura de la muestra de agua con un termómetro de bulbo de alcohol en escala Celsius y se registró su valor.
f. Se determinó la densidad a partir de:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{[Ecuación 25]}$$

donde:

ρ es la densidad

m es la masa del fluido

V es el volumen del fluido

6. Determinación de la viscosidad cinemática

Se utilizó como base el procedimiento descrito por (Cannon. Instrument Company, 2012).

Se determinó la viscosidad cinemática empleando un viscosímetro tipo Ostwald y un baño térmico a una temperatura conocida, preferentemente la temperatura de salida del efluente del equipo en cuestión, aunque para todas las mediciones se mantuvo a un valor de 30°C. A continuación, se detalla el procedimiento a seguido:

a. Se lavó y secó el viscosímetro con agua y jabón, luego se enjuagó en su interior con un poco pequeño volumen de acetona para que secase rápido.
b. Se tomó un poco de la muestra de agua en un beaker limpio y se enjuagó el viscosímetro con el la misma para su posterior descarte.
c. Se llenó el viscosímetro con la muestra de agua hasta un volumen adecuado que no sobrepasará el volumen dado por el equipo.

d. Con ayuda de un soporte y pinzas, se ingresó el viscosímetro en un baño térmico a 30°C (temperatura promedio de los efluentes de las áreas de calderas y cogeneración) y hasta una altura en la cual los extremos del equipo se encuentren fuera del agua.
e. Se permitió un tiempo de 10 a 15 minutos para que se alcanzara el equilibrio térmico aproximado.
f. Con un bulbo, se aplicó succión en la sección de menor diámetro del viscosímetro y se dejó que el agua ascendiera por encima de la segunda marca de medición del equipo.
g. Se quitó la succión del bulbo y con un cronómetro se midió el tiempo necesario para que el fluido pasara desde la marca superior hasta la inferior designadas por el fabricante. Este tiempo se tomó en triplicado para cada muestra de agua y se obtuvo un valor promedio.
h. Se determinó el valor promedio del tiempo y se determinó la viscosidad a partir de:

$$\mu = t \cdot k \quad \text{[Ecuación 26]}$$

Donde:

μ es la viscosidad cinemática en cSt, o bien, mm^2/s

t es el tiempo en segundos

k es la constante del viscosímetro en cSt/s, o bien, mm^2/s^2.

i. La constante del viscosímetro se determinó en Microsoft Excel por extrapolación lineal de los dos datos dados por el fabricante para la constante del equipo a 40°C y 100°C.

7. Medición de pH, conductividad y salinidad

Para la medición del pH, conductividad y salinidad de las muestras de agua se utilizó el equipo multiparámetro Testr 35 series, de Eutech Instruments. Previo a la medición de los parámetros, se calibró el equipo mediante el procedimiento que se detalla a continuación:

Para calibrar el pH en el multiparámetro:

a. Se encendió el equipo al oprimir el botón de inicio y ponerlo en modo de medición de pH.
b. Se lavó el sensor con agua destilada y posteriormente con un poco de la solución buffer de pH conocido marca Merck ®.
c. Se principió sumergiendo el electrodo del equipo en la solución buffer de pH igual a 4 y se presionó el botón de calcular. La pantalla principal indicó el valor sin calibrar, mientras que la pantalla secundaria buscó y desplegó el valor de calibración más cercano.
d. Se dejó que la pantalla principal se estabilizara y se presionó el botón “mode/ent” para confirmar la lectura de calibración por la pantalla secundaria.
e. Se repitió los pasos b a d con las soluciones buffer de pH 7 y 10.

Para calibrar la conductividad y salinidad (en forma automática):

f. Se encendió el equipo al oprimir el botón de inicio y con el botón “mode/ent” se seleccionó el modo de medición en conductividad o salinidad.
g. Se lavó el sensor con agua destilada y luego con un poco de la solución estándar de NaCl de conductividad conocida marca Merck ®. Es preferente el uso de una solución de KCl por ser una solución estándar de calibración para la medición de dichos parámetros, pero en ausencia de esta, se empleó la solución de NaCl.
h. Se sumergió el electrodo del equipo en la solución estándar y se presionó el botón “cal”. La pantalla principal mostró el valor sin calibrar, mientras la pantalla secundaria mostró el valor de calibración de fábrica más cercano.
i. Se presionó la tecla “hold” o “calc” para ajustar manualmente el lector principal al valor del estándar de calibración correspondiente a la solución de NaCl.
j. Se presionó el botón “mode/ent” para confirmar el valor ajustado.
k. Es recomendable calibrar con más estándares de calibración repitiendo los pasos 2 a 5, pero en este caso, solo se empleó un único valor estándar de calibración.

Para medir el pH, conductividad, y salinidad:

a. Se encendió el equipo y con el botón “mode/ent” se seleccionó el modo de medición en pH, conductividad o salinidad.
b. Se lavó el sensor con agua destilada y luego con un poco de la solución muestra.
c. Se sumergió el electrodo dentro de la muestra de agua y se esperó a que se estabilizara el valor de la lectura primaria. Se anotó dicho valor.
d. Se repitió el mismo procedimiento para el resto de las muestras y análisis para tres días de medición diferentes en los efluentes de los equipos que se encuentran en operación el día de la visita. Los análisis se realizaron en el momento de toma de las muestras.

8. Determinación de los sólidos suspendidos

Se utilizó como base el procedimiento descrito por (Fisher Scientific, 2007). No se realizó mediante un análisis de turbidez por falta de insumos para su determinación con el equipo (HACH, 2000) disponible.

Se utilizó papel filtro marca Whatman de diámetro nominal del poro de 1.5 μm. Empleando guantes, se cortó con tijeras el papel hasta un diámetro que coincidiera con el diámetro del embudo a emplear para el

sistema de filtración, el cual consiste en un matraz kitasato, embudo de filtración, manguera y sistema de vacío conectado a un extremo del matraz.

Las muestras que se tomaron para el análisis constaban de una mezcla de los distintos puntos de enfriamiento de ciertos equipos y no los puntos por separado, esto es, se tomó un volumen aproximadamente igual de cada punto de análisis del equipo en cuestión dentro del mismo frasco para su análisis como un conjunto. A continuación, se detalla el procedimiento a seguido para el análisis:

Para la preparación de los filtros:

a. Se colocó los discos de papel filtro en el embudo que forma parte del sistema de filtración: matraz kitasato, embudo de filtración, manguera y sistema de vacío.
b. Se aplicó vacío y se lavaron los filtros con 3 volúmenes sucesivos de 20 mL de agua destilada. Se permitió que toda el agua bajase hacia el kitasato receptor.
c. Se colocó los filtros en cajas Petri identificadas y se llevaron a una mufla a una temperatura de 104 ± 1 °C por un tiempo de 1 hora para su secado.
d. Se removió los filtros de la mufla y se colocó en una desecadora hasta que alcanzaran la temperatura ambiente.
e. Se pesó cada filtro en una balanza analítica y se registró el valor hasta el 0.1 mg de precisión.
f. Se anotó los valores de la masa de cada filtro y se guardó en la desecadora hasta su uso en el análisis de las muestras de efluentes.

Para el análisis de las muestras:

a. Se preparó el sistema de filtración, y se colocó el filtro previamente preparado dentro del embudo para luego aplicar vacío.
b. Se mojó el filtro con un poco de agua destilada para que asentará bien en el embudo.
c. Se tomó una muestra de volumen conocido del efluente en una probeta, previamente agitada vigorosamente; para la mayoría de los análisis se utilizó un volumen de 300 mL, aunque en algunos casos fue menor o mayor según la cantidad de solidos suspendidos.
d. Se filtró la muestra de agua con el sistema de filtración, dejando caer poco a poco el contenido de la probeta.
e. Se enjuagó la probeta con tres volúmenes sucesivos de 20 mL de agua destilada, filtrando esta cantidad en el sistema y permitiendo la obtención de todos los sólidos suspendido que pudieran estar remanentes en la probeta.
f. Se continuó la filtración por tres minutos más hasta que ya no hubiese succión de agua hacia el recipiente receptor.
g. Se retiraron los filtros del sistema y se colocaron en cajas Petri identificadas, llevándolos a una mufla a una temperatura de 104 ± 1 °C por un tiempo de una hora para su secado.

h. Se removió los filtros de la mufla y se colocó en una desecadora hasta que alcanzaran la temperatura ambiente.
i. Se pesó el filtro empleando guante y una balanza analítica hasta el 0.1 mg más cercano, registrando el valor.
j. Se repitió los pasos g a i para el mismo filtro, anotando su masa. Cuando la medición entre ambos valores incrementó menos de 0.5 mg o el cambio en la masa sólidos fue menor al 4% del valor previo, se procedió con los cálculos.
k. Se determinó la cantidad de sólidos suspendidos a partir de:

$$\text{TSS}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{A}-\text{B}}{\text{V}} \quad \text{[Ecuación 27]}$$

Donde:

TSS es la cantidad de sólidos disueltos totales
A es la masa del filtro y el residuo seco
B es la masa del filtro seco tarado
V es el volumen de la muestra filtrada

l. Se desechó la muestra de agua en el drenaje.
m. Se repitió el procedimiento anterior de preparación y análisis para para las muestras de agua restantes correspondientes a los equipos analizados.

9. Determinación de la dureza de $CaCO_3$

Para el análisis de dureza se utilizó el kit de dureza total MColortest ™ marca Merck ®. Con el fin de reducir el consumo de reactivos, se realizaron disoluciones 1:5 de las muestras de agua y posteriormente se corrigieron para expresarlo en términos de la muestra sin diluir. El procedimiento por seguido, y descrito por (Merck Millopore, 2013) fue el siguiente:

a. Se tomó una muestra del efluente a analizar en el recipiente provisto por el kit de dureza Merck ® y se procuró llenarlo hasta la marca indicada por el recipiente.
b. Se añadió 3-4 gotas del reactivo indicador provisto por el kit de dureza a la muestra de agua y remover para su homogeinización.
c. Se colocó la pipeta de valoración del kit sobre el frasco del reactivo H-2 abierto.
d. Se haló lentamente del émbolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde inferior de la junta negra del émbolo coincida con la raya de marcado cero de la escala (en resumen, se llenó solamente el tubo cuentagotas con solución valorante). Cuando se llenó, se procuró que la pipeta de valoración no estuviese firmemente enroscada con el frasco de reactivo.
e. Se sacó la pipeta de valoración y se rozó brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso de líquido adherido.

f. Lentamente y agitando por balanceo la muestra analizada, se procedió a gotear la solución de valoración a la muestra, hasta que su color virará de rojo a verde pasando por violeta grisáceo (poco antes del viraje). En presencia de formadores de dureza la muestra se colorea de rojo. Poco antes de llegar al viraje de color, se esperó unos segundos después de cada gota como precaución para evitar pasarse en excedente del punto de viraje. Se mantuvo el frasco verticalmente durante la adición del reactivo.

g. En el borde inferior de la junta negra del émbolo se leyó el valor de medición en °d o en mg/L de CaCO3 en la correspondiente escala de la pipeta de valoración.

h. Después de acabar el análisis, se hizo retroceder, presionando, la solución restante de valoración desde la pipeta de valoración al frasco de reactivo H-2 y se enroscó firmemente la pipeta, en lugar de la tapa roscada, sobre el frasco de reactivo.

i. Se repitió el procedimiento anterior para tres días de medición diferentes en los efluentes de los equipos que se encontraban en operación el día de la visita.

Cuadro 26. Conversiones correspondientes para la determinación de la dureza

Valor dado	Valor buscado					
	mol/L de $CaCO_3$ (de Ca)	1 g/L de $CaCO_3$	1 g/L de Ca	1 grado francés °f	1 grado inglés °e	1 grado alemán °d
1mol/L de $CaCO_3$ (de Ca)	1	100.1	40.08	10010	7020	5610
1 g/L de $CaCO_3$	0.010	1	0.400	100	70	56
1 g/L de Ca	0.025	2.50	1	250	175	140
1 grado francés °f	100	10000	4000	1	0.702	0.56
1 grado inglés °e	142	14250	5710	1.43	1	0.799
1 grado alemán °d	178	17850	7150	1.78	1.25	1

(Merck Millopore, 2013).

10. Determinación de la presencia de grasas y aceites

Por cuestiones de costos elevados no se determinó de forma analítica la presencia y concentración de grasas y aceites en las muestras de agua, por lo cual se hace una inspección visual del agua y tras la centrifugación de las muestras.

A continuación, se detalla el procedimiento de centrifugación seguido:

a. Se colocó un volumen de las muestras dentro de tubos de centrifugación, procurando tener la misma masa entre los tubos cerrados con la muestra de agua y ubicándolos en extremos opuestos uno del otro en la centrífuga para evitar problemas durante el funcionamiento.

b. Se colocó los tubos dentro de la centrífuga de laboratorio y se dejó operar por un tiempo de 10 minutos a una velocidad de 3000 revoluciones por minuto, otorgando un tiempo prudente hasta que el equipo deje de girar para poder retirar las muestras.
c. Tras la centrifugación, se observó las muestras a contraluz y sobre un fondo blanco para ver si hubo una separación notoria de una fase oleosa que indique la presencia de grasas o aceite.

11. Determinación del contenido de hierro en pozos

La determinación de hierro en los distintos pozos del ingenio se fue realizada por el laboratorio de análisis de agua dentro del ingenio y mediante el método colorimétrico, empleando el equipo portátil HACH DR/890. A continuación, se detalla en el procedimiento que se siguió para su determinación:

a. Se presionó la tecla de encendido del equipo.
b. Se seleccionó el programa #33, luego se presionó el botón ENTER y por último se presionó el botón TIMER (La pantalla desplegará 03:00 minutos.)
c. Se enjuagó con la muestra a analizar dos celdas para análisis, luego se llenaron las dos celdas con la muestra hasta la marca de 10 mL.
d. Se cerró una de las celdas con tu tapadera; ésta fue el blanco del análisis.
e. A la otra celda se agregó el contenido de una bolsita de Reactivo para Hierro dada por el equipo HACH; esta fue la muestra preparada. Se procedió a agitar bien hasta disolver.
f. Se presionó el botón ENTER en el equipo. Se inició un período de 3 minutos en cuenta regresiva.
g. Cuando se escuchó el beeper del TIMER, se colocó la celda con el blanco (del paso d) en la porta muestra del equipo y se cubrió con la tapa.
h. Se presionó la tecla ZERO. La pantalla mostró una lectura de 0.00 mg/L Fe, correspondiente al blanco. Se procedió a sacar la celda.
i. Se coloca la celda con la muestra a analizar (del paso e) en la porta muestra del equipo, cubriéndola con la tapa, y se presionó la tecla READ. La pantalla mostró el resultado en mg/L de Fe.
j. Se repitió el mismo procedimiento para la determinación de hierro en las otras muestras de agua analizadas.

12. Medición de nivel en el área de calderas y cogeneración

La propuesta de recirculación se dividió en tres etapas: 1) la captación de los efluentes directamente de los equipos y su conducción por un sistema de tuberías aprovechando el desnivel del área y el sistema de canales existentes, 2) la recepción de los efluentes hacia un tanque recolector, y 3) el bombeo del agua del tanque receptor hacia la tubería de retorno de agua caliente hacia la torre de enfriamiento del bloque 1.

Para mayor claridad en la descripción que se presenta a continuación, se recomienda ver los esquemas del área de calderas y cogeneración en la sección de resultados.

En la medición de nivel se utilizó el equipo Spectra Precision Laser HV 302 junto con su receptor digital HL760 para medir y desplegar la ubicación del láser emitido por equipo. Este sistema se disponía en el ingenio. El equipo fue calibrado previamente siguiendo el procedimiento descrito en el manual del equipo y el cual se halla descrito por (Spectra Precision, 2018).

El procedimiento de uso para la medición de nivel fue el descrito por el manual del usuario del equipo, y que a continuación se resume:

a. Se instaló el equipo Spectra Precision Laser HV 302 sobre un trípode y con ayuda de un nivel de albañil se verificó que el sistema se encontrara nivelado sin ninguna inclinación respecto de la horizontal que pudiese perjudicar la lectura del láser.
b. Se pulsó el interruptor ON/OFF del equipo para encender el indicador LED. El rotor láser se encuentra parado inicialmente. Cuando el indicador de nivelación dejó de parpadear y el rayo láser se iluminó, el equipo estaba nivelado.
c. Se seleccionó el modo de rotación del equipo hasta una velocidad rápida para la lectura de nivel, aunque esta se puede ajustar según la facilidad del usuario, y se seleccionó la opción de trabajo automático. Se procedió a encender el receptor digital HL 760 y se verificó que recibiese la señal láser del equipo HV 302.
d. Se utilizó una regla larga (o un metro) y una tiza blanca, y se determinó la altura del equipo realizando una marca sobre la pared más cercana, procurando la menor distancia con el equipo. Esta altura corresponde al punto de referencia cero desde donde se inició a tomar las diferencias de nivel a ciertas distancias.
e. Con una cinta métrica Stanley® se midió cierta distancia lineal desde la base del equipo. Se colocó el receptor digital HL 760 sobre una superficie vertical plana y se buscó que recibiese la señal del equipo HV 302; una vez detectada la señal, se ajustó la posición del receptor hasta que recibiera la señal láser justo en su parte central, que es cuando deja de titilar y emite una luz verde. Se realizó una marca sobre la superficie y se midió con el metro la altura hasta dicha marca desde el nivel del suelo. La diferencia de la altura del equipo con la altura de la marca realizada corresponde al desnivel existente entre ambas posiciones.
f. Se realizó el mismo procedimiento para distintas distancias y puntos a evaluar, movilizando el equipo de ser necesario y estableciendo nuevas alturas del equipo como punto de referencia inicial para las mediciones.

13. Enfriamiento en serie de equipos seleccionados

Se consideró apropiado en algunos casos evitar el enfriamiento en paralelo para distintos puntos de enfriamiento de un solo equipo, como lo es el caso de las bombas de inyección de agua a calderas, y se realizó un sistema de enfriamiento de agua en serie; esto se propuso que en lugar de una línea que se ramifique en varias líneas pequeñas para enfriar distintos puntos en un mismo equipo, se tome una sola línea que pase enfriando todos los puntos. Esto se considera factible desde el punto de vista del análisis termodinámico del calor sensible absorbido por el agua tras su paso por los puntos, ya que actualmente el agua sale a una temperatura de alrededor de 30°C, mientras que con las mejoras propuestas estaría saliendo a un par de grados mayor como se denota en el Cuadro 270 en el apartado de anexos.

Esta propuesta se evalúo para equipos en los cuales fuese factible realizar el nuevo tramo de tuberías por la cercanía de los puntos de enfriamiento (ver Cuadro 270 en el aparado de anexos), evitando interferir con el paso del personal o maquinaria. Con esta propuesta, se reduce la cantidad de tuberías a la salida de los equipos seleccionados y se reduce el consumo de agua, puesto que se plantea usar el caudal promedio registrado a la salida del equipo. En caso de ocurrir un aumento significativo de la temperatura en el efluente de salida, basta con solo aumentar el flujo de agua hasta un valor de temperatura adecuado.

Para más información acerca de cómo se realizaron los cálculos y los resultados obtenidos, se puede consultar los cálculos realizados, el Cuadro 266 y Cuadro 270 en el apartado de anexos.

14. Diseño de captación de los efluentes de agua de los distintos equipos

La propuesta de distribución de los efluentes de los equipos seleccionados dentro del alcance del proyecto hacia el tanque recolector se realizó con base en el desnivel en las áreas y el sistema de canales existentes, aprovechando de esta manera el flujo por gravedad. De esta forma, se obtuvo tres circuitos principales, el primero que recolectaba los efluentes de las bombas de inyección a las calderas 5 y 6, el segundo recolectaba las aguas del tomamuestra del de aireador de las calderas 4, 6 y 7, la bomba 1 y turbo bomba 2 de la caldera 4, y el tercer circuito (el más grande) recolectaba los efluentes del resto de equipos analizados, a excepción de las purgas de las torres de enfriamiento del bloque 1 y 2.

La captación de los efluentes se planeó realizar mediante diversos accesorios para evitar la contaminación del efluente con el exterior. En algunas situaciones se tuvo una línea secundaria que recolectaba el agua de algunos equipos y los distribuía hacia la línea principal de mayor tamaño que se dirigía hacia el tanque receptor. Las tuberías se ubicaron siguiendo el sistema de canales ya existente, aunque, en algunos casos, como en el transporte del agua de los equipos de la planta desmineralizadora, bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo y la bomba hidráulica 5 de conductor de

retorno de bagazo, se requierió realizar una pequeña excavación para formar la canaleta que permita llevar el efluente hacia la línea principal.

De acuerdo a un análisis de velocidad de flujo a través de las tuberías y a partir del diámetro de la tubería, el caudal recolectado hasta en el momento y el Cuadro 6 en el apartado de marco teórico, se propuso expansiones en el diámetro de la tubería para mantener el flujo de agua a velocidades por menores de 1 m/s, a la vez que se redujeron costos de instalar una sola línea de tubería de gran diámetro para todo el recorrido.

El total de los accesorios requeridos para la distribución del agua hacia el tanque se realizó con base en los accesorios y tubería nueva que se requirió para realizar la propuesta de enfriamiento en serie de los puntos de las bombas de inyección a calderas, unidades hidráulicas del turbogenerador TRONA y Condensing, y ventiladores inducidos de la caldera 5, así como las distancias a recorrer por las tuberías hacia el tanque recolector, y los accesorios requeridos para realizar las conexiones entre tuberías y puntos de enfriamiento.

15. Diseño del tanque recolector de efluentes de agua

El tanque receptor se dimensionó con base en el caudal máximo de agua a recibir de los distintos equipos y el tiempo de residencia del agua dentro de este; esto se ejemplifica en los cálculos realizados en el apartado de anexos. Las dimensiones del tanque son de 2 metros de altura y 1 metro de diámetro, y cuyo volumen es de 1.57 m^3, lo cual se encuentra por encima del caudal máximo como medida preventiva y capaz de contener el flujo entrante. Se propone la instalación dos interruptores de nivel OMEGA LVK-90 para controlar de forma automática el arranque y apagado de la bomba cuando el tanque se encuentre lleno y vacío a los niveles fijados respectivamente.

La ubicación del tanque se seleccionó junto a los ingenieros del área, procurando que no interfiriese con el paso del personal o maquinaria. El tanque se ubicaría por debajo del nivel del suelo para captar los efluentes por gravedad, los cuales se distribuyen desde los equipos a nivel del suelo; por ello es necesario la excavación de la zona para instalar el sistema receptor.

Los aspectos de selección de material y base del tanque se seleccionaron con base en el estándar descrito por la (American Water Works Association, 2013) para tanques del tipo “Stand pipe. Para el material de construcción se plantea láminas de hierro negro de 3/16 de pulgada, que es el grosor mínimo recomendado por el estándar.

Para la base del tanque se propuso un anillo de concreto de 6 pulgadas de altura sobre el cual este soportado el tanque y con un interior de grava para reducir costos (en lugar de que sea todo de concreto). Para fijar el tanque a la base, el estándar recomendaba el uso de pernos de anclaje tipo L (“anchor bolts”) de 1 ¼ de pulgada y con un espaciamiento de 10 pies entre pernos; para el tanque propuesto se considera

adecuado el uso de pernos de 1 pulgada y un espaciamiento de 0.5 metros entre pernos debido al reducido tamaño.

Para el diseño se consideró la instalación de un chorro de 1 pulgada en la base del tanque para drenar el agua por labores de limpieza y un sistema de rebalse que dirija el exceden de agua por una tubería hacia el canal existente que distribuye el agua hacia la planta de cenizas. No se consideró la implementación de una apertura para el ingreso de personal porque se propuso que para entrar al tanque pueda removerse la tapa de este, de igual forma no se considera el uso de una escalera por las dimensiones de construcción.

Se propuso que el tanque contara con un recubrimiento interno y externo que protegiera ante la oxidación y extienda su vida útil. Para la parte externa del tanque se consideró aplicar una primera capa de anticorrosivo para ofrecer una protección ante la corrosión sobre la superficie; el producto seleccionado, anticorrosivo Kem Kromik Universal HS de la marca Sherwin Williams ®, es recomendado para superficies de hierro y acero, lo cual lo hizo ideal para el tanque propuesto, que es hierro negro. Como recomendación del fabricante del anticorrosivo, se consideró necesario el uso de una a dos capas del esmalte de poliuretano sobre la capa de anticorrosivo para proveer una protección externa adicional; el producto recomendado para esta aplicación es el esmalte de poliuretano Kem Enamel de la marca Sherwin Williams ®. Para el interior del tanque se recomendó aplicar un recubrimiento epóxico poliamida para ofrecer protección en tanque de almacenamiento de agua, en especial sobre bordes afilados, esquinas y soldaduras; el producto seleccionado para esta aplicación consistió en la mezcla de dos materias primarias, MacroPoxy 646 PW parte A y B de la marca Sherwin Williams ®, que posteriormente se aplican sobre la superficie.

16. Condiciones fisicoquímicas dentro del tanque receptor

Las condiciones fisicoquímicas dentro del tanque se evaluaron bajo la propuesta de enfriamiento en serie y mediante balances de masa y energía para los parámetros de temperatura, pH, dureza, salinidad y sólidos suspendidos. Dentro del balance solo se consideró aquellos equipos de los cuales se tiene registro de los valores fisicoquímicos obtenidos, ya que no se tiene valores disponibles de las condiciones para todos los efluentes. Para los sistemas bajo la propuesta de enfriamiento en serie se considera un caudal promedio del registrado para los distintos efluentes.

Lo balances de masa y energía se ejemplifican en la sección de cálculos en el apartado de anexos y los resultados se presentan del Cuadro 278 al Cuadro 283 y el Cuadro 285 en el apartado de anexos.

17. Diseño del circuito de bombeo del agua del tanque recolector

Para el circuito de bombeo hacia la tubería de agua caliente que lleva el agua hacia la torre de enfriamiento del bloque 1 se empleó las ecuaciones de flujo de fluidos descritas en el marco teórico respecto de la ecuación de Bernoulli, es decir, se determinó aspectos de caudal, velocidad a través de la

conducción, cabeza dinámica y estática, el tamaño de la bomba y el resto de términos de la ecuación de Bernoulli para los dos puntos de referencia seleccionados, que para el análisis fueron la entrada de la tubería de succión en el tanque recolector y la descarga hacia la entrada de la tubería de agua caliente que se dirigía hacia la torre de enfriamiento.

Tras evaluar distintas rutas, se descartó las que pudieran obstruir el paso de personal o maquinaria, se seleccionó la conducción que implicaba el menor recorrido en términos de distancia y cantidad de accesorios, garantizando así que la potencia a desarrollar por la bomba no fuera muy grande. No se propuso una distribución de la tubería de descarga al nivel del suelo debido a que por el área existía un constante paso de maquinaria.

Se estableció el material de la bomba y su impulsor, el caudal a distribuir, la cabeza total a desarrollar, la temperatura del agua a bombear, diámetros de succión y descarga, la cabeza neta de succión positiva requerida (NPSH) y la velocidad del impulsor en revoluciones por minuto; esto se realizó con base en las condiciones del fluido a manejar y velocidades recomendadas para las tuberías de succión y descarga dadas por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007), datos importantes para seleccionar la bomba adecuada entre las disponibles. Con esto se cotizó una bomba centrífuga Goulds con proveedor local y que pueda desarrollar la potencia requerida con una buena eficiencia. Es importante mencionar que el diámetro de succión y descarga de la bomba que se propuso no corresponden a los recomendados, por lo que se plantea emplear reductores y expansores para ajustarse a los parámetros de la bomba, aunque para el recorrido propuesto de la tubería sí se emplea el diámetro recomendado (el ajuste solo es para la conexión con el sistema).

Se propuso implementar un medidor de flujo OMEGA serie FMG3000 a la salida de la bomba para conocer el caudal de ingreso hacia la torre de enfriamiento, pudiendo regular el consumo de agua de reposición proveniente del tanque elevado auxiliar a partir de dicho valor. También se recomendó instalar manómetros en la succión y descarga de la bomba.

Para este sistema de bombeo se consideró el tener dos bombas, junto con toda su instrumentación, considerando la situación en que la primera deba recibir mantenimiento.

18. Costos de inversión del diseño de recirculación propuesto

Se dividió los costos en tres secciones: inversión para la captación de los efluentes de los equipos y su distribución hacia el tanque receptor, instalación del tanque receptor y sistema de bombeo hacia la tubería de agua caliente de regreso hacia la torre de enfriamiento.

Se realizó un conteo de las tuberías, accesorios y válvulas requeridas en los circuitos de captación de efluentes y transporte del agua en la descarga de la bomba; se analizó cada equipo y sistema por separado, tomando mediciones de las distancias y recorridos por hacer dentro del área del ingenio. Con el total de los materiales, se procedió a cotizar los productos en diversas ferreterías del país dedicadas a la venta de este

tipo de materiales, además de emplear los datos históricos de precios de tuberías de hierro negro que dispone el ingenio.

Para el tanque receptor se cotizó los materiales requeridos en diversas ferreterías del país; la cantidad de lámina requerida se basó en el área superficial del tanque considerando como un cilindro cerrado. Se cotizó pinturas y recubrimiento protectores para el interior y exterior del tanque en Sherwin Williams ®. Los accesorios de control (interruptores de nivel) se cotizó en el sitio web de OMEGA Instruments. Adicionalmente, se consideró los pernos de anclaje tipo L y el chorro de 1 pulgada para drenado. No se consideró dentro de los costos de inversión del tanque la base del tanque (que incluye grava y el anillo de cemento), tubería de drenado o rebalse, sistema de venteo y costos de soldadura.

La cotización de las bombas centrífugas se realizó mediante proveedores de las marcas Goulds a través de la Universidad del Valle de Guatemala, especificando la cabeza total a desarrollar, el caudal a manejar, el diámetro de succión y descarga, el material de la bomba y del impulsor, temperatura y fluido a manejar, velocidad del impulsor en revoluciones por minuto y la cabeza neta de succión positiva requerida (NPSH).

Para los equipos que deban importarse al país, se realizó una cotización aproximada para la puesta del sistema en el ingenio tras su compra directamente del fabricante. Se consideró aspectos de Incoterm ExWork, fletes, impuestos en las aduanas, entre otros. Estos resultados se detallan del Cuadro 291 al Cuadro 294 del apartado de anexos.

19. Análisis estadístico e incertidumbres

Las incertidumbres de los datos obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de los efluentes fueron determinadas por el instrumento de medición en cuestión y se presentó en las distintas tablas de resultados. Para los resultados individuales del caudal obtenidos en los distintos días de medición para un punto de enfriamiento, presentados del Cuadro 260 al Cuadro 263, no se determinó la incertidumbre al no contar con la incertidumbre individual para el dato del volumen registrado, puesto que no se utilizó un instrumento de medición con un error ya definido, sino que el sistema constaba de una cubeta graduada como se describe en el apartado de metodología. Sin embargo, como se realizó tres mediciones por punto de análisis en un mismo día, se determinó un caudal promedio para el conjunto de datos; entonces, el error asociado a este resultado es la desviación estándar, la cual se determinó mediante la función DESVEST.M en Microsoft Excel. En caso de convertir de ciertas unidades a otras, como en la situación de convertir de galones por minuto a metros cúbicos por segundo, se aplicó las conversiones tanto al resultado como a la incertidumbre ya calculada.

Con los datos promedio de cada punto de análisis obtenidos para los diferentes equipos y en los diferentes días de análisis, se preparó un resumen general por equipo en el cual se denotan los valores mínimos, máximos y promedio del caudal para el sistema en su totalidad. Primero se obtuvo el caudal de salida total para el equipo en cuestión, considerando la suma de los puntos de análisis que le corresponden;

con esto se obtuvo un set de tres datos para el equipo en los diferentes días de análisis. A partir de estos valores, se determinó el valor mínimo y máximo, así como un valor promedio del conjunto de datos con su nueva desviación estándar. Estos resultados se pueden observar Cuadro 264 – Cuadro 265 de la sección de anexos.

Las incertidumbres para las operaciones de sumas, resta, multiplicación y división, en los que se utilizó los datos con incertidumbres asociadas al instrumento de medición, calculadas o desviaciones estándar, se empleó:

Para las operaciones de suma y resta, se obtiene la incertidumbre de un resultado según lo descrito por (Garland, Nibler, & Shoemaker, 2011):

$$S_R = \sqrt{(S_a)^2 + (S_b)^2 + \cdots + (S_n)^2} \quad \text{[Ecuación 28]}$$

Donde:

S_R es la incertidumbre del resultado

$S_a$es la incertidumbre para el primer dato usado en la operación

$S_b$es la incertidumbre para el segundo dato usado en la operación

$S_n$es la incertidumbre para el enésimo dato usado en la operación.

Para las operaciones de multiplicación y división, se obtiene la incertidumbre de un resultado según lo descrito por (Garland, Nibler, & Shoemaker, 2011)::

$$S_R = R\sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{S_n}{n}\right)^2} \quad \text{[Ecuación 29]}$$

Donde:

S_R es la incertidumbre del resultado

R es el resultado de la operación de multiplicación o división

$S_a$es la incertidumbre para el primer dato usado en la operación

a es el primer dato usado en la operación

$S_b$es la incertidumbre para el segundo dato usado en la operación

b es el segundo dato usado en la operación

$S_n$es la incertidumbre para el enésimo dato usado en la operación

n es el enésimo dato usado en la operación.

Para los valores promedio se consideró la desviación estándar de los datos.

E. Módulo 5: Área de tándem “A”

Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de chumaceras y reductores en el tándem “A” de molinos

1. Listado de equipo

a. Multiparámetro 35-series tester marca Oakton.
b. Test de dureza total MColortest marca Merck
c. Centrífuga marca Cole-Parmer
d. Balanza analítica marca BOECO Germany

2. Análisis preliminar

a. Se realizó cuatro visitas de campo, durante los meses de agosto-octubre 2017, a la planta industrial para conocer los procesos y áreas de trabajo en el ingenio que involucraban el uso de agua de pozos y río Provincias para el enfriamiento de los equipos en el tándem “A” de molinos.

b. Con ayuda de diferentes operarios y jefes de área, se identificó y cuantificó las tuberías con los efluentes de enfriamiento principales de cada molino del tándem “A” como:
   1) Efluentes de chumaceras lado corona: maza bagacera, maza cañera, maza superior, cuarta maza.
   2) Efluentes de chumaceras lado espiga: maza bagacera, maza cañera, maza superior, cuarta maza.
   3) Efluentes de reductores de: alta, media, baja
   4) Efluentes de reductores planetarios

c. Se estableció que, a los puntos identificados, se les iba a realizar análisis de: dureza, pH, conductividad, salinidad, sólidos suspendidos, grasas y aceites, medición de caudal y toma de temperatura.

d. Para la toma de muestras, se empleó la metodología de la norma COGUANOR NGO 29 001:99

e. Luego, se realizó un diagrama de bloques de agua del sistema de enfriamiento actual en el tándem “A” de molinos, con las tuberías de efluentes identificadas en las visitas de campo para tener un panorama general y estimar el flujo de agua del área completa.

3. Propiedades físicas

a. Medición de caudal y temperatura

1) Se hizo uso del método volumétrico establecido por la FAO y con la ecuación 2 para determinar el caudal. Para ello, se aforó dos botes plásticos de 0 a 14 L con intervalos de 1 L, utilizando una balanza analítica y la densidad del agua; y un bote de 0 a 35 L con intervalos de 5 L.
2) Se diseñó un formato en una hoja de cálculo para anotar los datos obtenidos de volúmenes, tiempo y temperatura en las diferentes tomas de muestra.
3) Las mediciones de caudal se hicieron para cada uno de los 16 reductores, 48 chumaceras y 6 reductores planetarios que conforman el tándem "A" de molinos, en cada medición se tomó la temperatura con un termómetro de bulbo.
4) Para cada día de medición, se hizo dos rondas en triplicado cada una. En total se analizaron tres días en horario de 8:00 a 14:00 horas.
5) Los caudales y temperaturas se midieron bajo condiciones normales de operación del ingenio, no se alteró las aperturas de válvulas establecidas por los operarios.
6) Para determinar el caudal total, se hizo un promedio de datos de cada área para cada corrida y luego se hizo la suma de estos promedios, esto proporcionó el caudal mínimo, el máximo y el promedio usado en el área de tándem "A" de molinos
7) Se determinó el caudal para cada salida de agua y se realizó un balance de agua para el tándem "A" de molinos, se identificó zonas de pérdida de agua.

4. Propiedades químicas

Para los venticuatro puntos de muestra en el tándem "A" de molinos, se determinó los siguientes parámetros: pH, dureza, conductividad, salinidad, sólidos suspendidos y grasas y aceites. Para ello se utilizó frascos de 500 mL previamente esterilizados para tomar muestras y así poder realizar los análisis correspondientes. Cada análisis se realizó en triplicado en tres días diferentes de zafra, excepto para sólidos suspendidos y grasas y aceites, que se realizó solo una vez.

a. pH, conductividad y salinidad: Se utilizó un multiparámetro marca Eutech Instruments TESTR 35 SERIES.
   1) La calibración se realizó según el manual de instrucciones (ver anexo)
   2) Se encendió el equipo y con el botón "mode/ent" se seleccionó el modo de medición en pH, conductividad, salinidad
   3) En un beaker se agregó aproximadamente 50 mL de agua de muestra y se sumergió el electrodo del equipo hasta que el valor en la pantalla se estabilizara
   4) Se retiró el electrodo y se enjuagó con agua destilada.

b. Dureza: se hizo uso de un kit de dureza marca Aquamerck 108047, la metodología empleada fue la propuesta por el manual de instrucciones (ver anexo)

1) Se usó una jeringa para extraer 5 mL de agua de muestra y se colocó en un recipiente
2) Se agregó el indicador y luego balancear lentamente e ir agregando gotas de una solución de EDTA, hasta que su color vire de rojo a verde pasando por violeta grisáceo
3) Se leyó la cantidad de solución EDTA agregado en grados alemanes (°d) y se convirtió a mg/L por medio de un factor de 17.85.

c. Sólidos suspendidos: se utilizó el método gravimétrico propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

1) Preparación de filtros

a) Se montó un sistema de filtración a vacío en la cabina del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la universidad, se le colocó un papel filtro y se le agregó tres volúmenes de 20 mL de agua destilada sucesivamente.
b) Se retiró el filtro del embudo y se colocó en una caja Petri, previamente lavada. Se colocó en una mufla a 105°C por 1 hora para el secado.
c) Se retiró el papel filtro de la mufla y se colocó en una desecadora hasta que alcanzó la temperatura ambiente.
d) Se pesó el filtró y se anotó el valor

2) Análisis de muestras

a) Se preparó el sistema de filtración con un embudo buchner, un Kitasato, una manguera y una línea de vacío; se colocó el filtro de 47 µm de porosidad previamente preparado.
b) Se agregó 300 mL de agua a analizar al filtro y se aplicó vacío
c) Se dejó la filtración por tres minutos
d) Se retiró el papel filtro del embudo y se colocó en una caja Petri.
e) La caja Petri se colocó en la mufla por 1 hora a 105 °C
f) Se retiró el papel filtro y se colocó en la desecadora, se esperó a que alcanzara temperatura ambiente.
g) Se pesó el papel filtro con agua de muestra y por diferencia de peso se determinó la cantidad de sólidos suspendidos.

d. Grasas y aceites: se tomó muestras en viales y se centrifugó, el análisis se hizo de manera visual.

    1) Se colocó 8 mL de muestra en un vial
    2) Los viales fueron colocados en la centrífuga y se dejó operar a 3000 rpm por 10 minutos.
    3) Se retiró las muestras y se observó si hubo separación notoria de fases.

5. Diseño de recirculación

a. Se realizó un balance de agua con los caudales máximos medidos en los diferentes puntos del área del tándem "A" de molinos. Se determinó la cantidad de agua que no es reutilizada.
b. Se analizó las propiedades químicas del agua no reutilizada y se planteó un circuito para recirculación
c. El circuito parte del tanque recolector del tándem "A" de molinos y se dirigió hacia un tanque general, para luego enviar dicha agua a una torre de enfriamiento.
d. Con el caudal disponible a recircular, se dimensionó la tubería que lo transportará
e. Se hizo un plano de tuberías con los largos, accesorios, válvulas requeridos para el trayecto.
f. Se realizó los cálculos necesarios para seleccionar una bomba y determinar la potencia del equipo (ver datos calculados del módulo 5)
g. Se determinó el NPSH del sistema de recirculación

6. Inversión del módulo

a. Se cuantificó la cantidad de accesorios, válvulas, tuberías y bombas se requiere para el diseño de recirculación propuesto
b. Se realizó una cotización para cada uno de los ítems involucrados en el circuito de recirculación propuesto.
c. Se unificó todos los costos y se analizó el costo inicial de compra de equipos, tuberías, accesorios, entre otros y el costo de mantenimiento del sistema propuesto en este módulo.

7. Inversión y costos de operación para el sistema de recirculación

a. Se unificó los costos de bombas, motores, válvulas, accesorios y tuberías requeridos para el sistema de recirculación de cada módulo.
b. Se hizo uso de factores para determinar, con respecto al costo inicial de equipos, los porcentajes de instalación, instrumentación, eléctrico, preparación y contingencia, datos obtenidos del Perry.

c. Para los equipos propuestos para el diseño de recirculación general, se estimó el consumo energético de cada uno de ellos a lo largo de su operación en una zafra.
d. Se calculó el precio de un galón de agua en el ingenio

8. Datos estadísticos

a. Para obtener la incertidumbre de los datos medidos y calculados, se empleó la desviación estándar de estos.
b. Se usó una hoja de Excel con los datos originales y con la función “desvest” se obtuvo la desviación estándar.
c. Al dato original obtenido se le sumó y restó la desviación estándar para obtener el rango de cada parámetro.

VII. RESULTADOS

A. Módulo 1: Área de molinos tándem "B"

Cuadro 27. Rangos de propiedades químicas de efluentes de enfriamiento en tándem B.

Área	Área	Localización	Caudal ($x10^{-3}$ m^3/s)	Temperatura (±0.5 °C)	pH (±0.01)	Dureza (±0.1ppm)	Conductividad (±0.1µs/cm)	Salinidad (±0.1ppm)	Sólidos suspendidos (±0.15ppm)	Presencia Grasas y aceites
Molinos tándem B	Molino 1	Unidad hidráulica Walker	1.2 - 1.3	31.0 - 36.0	7.74 – 7.90	127.6 – 133.9	268.0 – 273.0	123.0 – 124.0	2	No
		Reductores	0.2 - 2.6	23.7 - 27.2	8.36 – 8.45	107.1*	173.7 – 179.4	79.0 – 83.0	3	No
		Chumaceras lado corona	1.2 - 1.8	22.8 - 26.8	8.37*	107.1*	169.9 – 179.1	78.0 – 81.0	4	Sí
		Chumaceras lado espiga	0.9 - 1.5	23.4 - 27.5	8.42 – 8.44	98.2 – 108.9	167.8 – 178.9	77.2 – 82.7	4	Sí
	Molino 2	Reductores	1.5 - 2.0	23.3 - 26.7	8.38 – 8.41	98.2 – 107.1	169.5 – 177.7	78.0 – 81.9	4	No
		Chumaceras lado corona	1.2 - 1.7	22.3 - 26.1	8.31 – 8.44	105.3 – 107.1	170.2 – 180.0	77.8 – 82.9	5	Sí
		Chumaceras lado espiga	0.2 - 1.3	24.6 - 27.5	8.33 – 8.37	107.1 – 109.8	168.8 – 178.9	77.5 – 81.8	3	Sí
	Molino 3	Reductores	1.1 - 1.6	23.7 - 27.3	8.37 – 8.47	105.3 – 107.1	169.9 – 178.9	78.1 – 82.7	2	No
		Chumaceras lado corona	1.2 - 1.8	22.6 - 27.8	8.44 – 8.46	105.3 – 107.1	167.0 – 178.8	76.7 – 82.4	3	Sí
		Chumaceras lado espiga	0.9 - 1.7	23.3 - 27.1	8.38 – 8.41	107.1 – 108.9	168.8 – 178.9	77.2 – 82.1	3	Sí
	Molino 4	Reductores	1.2 - 1.7	23.7 - 27.0	8.34 – 8.37	106.2 – 123.2	168.7 – 177.4	77.7 – 81.4	2	No
		Chumaceras lado corona	0.7 - 1.2	23.4 - 26.5	8.39 – 8.47	104.4 – 107.1	170.0 - 179.2	77.9 – 81.6	4	Sí
		Chumaceras lado espiga	1.0 - 1.6	25.0 - 28.0	8.38 – 8.45	107.9 – 120.5	169.1 – 179.2	77.3 – 82.1	3	Sí
	Molino 5	Reductores	1.1 - 1.5	23.3 - 27.0	8.38 – 8.39	107.1 – 116.0	168.9 – 180.5	77.7 – 83.2	3	No
		Chumaceras lado corona	0.7 - 2.0	22.8 - 26.3	8.37 – 8.41	107.1 – 116.0	169.5 – 172.4	77.8 – 79.5	3	Sí
		Chumaceras lado espiga	0.7 - 1.4	24.0 - 27.9	8.42 – 8.45	108.9 – 124.9	145.2 – 178.3	66.5 – 81.8	3	Sí

Notas: El cuadro anterior muestra los rangos de caudal, temperatura, pH, dureza, conductividad, salinidad y los datos obtenidos de los análisis de sólidos suspendidos y los análisis de grasas y aceites de los reductores y chumaceras. Todos los valores cumplen con las condiciones de operación de una torre de enfriamiento, siendo estos los siguientes: pH 6.5 – 9.2; Conductividad < 3,300 µS/cm; Dureza < 750 ppm; Salinidad < 300 ppm; Sólidos suspendidos < 25; Grasas y aceites sin presencia. Ver metodología para saber cómo se realizó cada análisis.
*Los resultados de los análisis de los parámetros señalados fueron iguales en todas las corridas. Esto dio como resultado una desviación estándar de 0 y por lo tanto estos no poseen un rango.

Cuadro 28. Condiciones de operación de efluentes de enfriamiento que ingresa a la torre

Condiciones máximas de operación de la mezcla de los efluentes de agua de enfriamiento de fábrica, patio de caña y molinos tándem A que ingresa a la torre de enfriamiento.

Dato	Valor
Caudal (10^{-3} m^3/s)	47.7
Temperatura de entrada (±0.5°C)	37.5*
pH (±0.01)	9.67
Dureza (±0.01ppm)	140.03
Conductividad (±0.1µS/cm)	303.40
Salinidad (±0.01ppm)	138.97
Sólidos suspendidos (±0.15ppm)	17.8

Notas: Los datos fueron determinados con los valores máximos de caudal, temperatura, pH, dureza, conductividad, salinidad y sólidos suspendidos de la mezcla de los efluentes de agua de enfriamiento de las áreas de fábrica, patio de caña, y molinos obtenidos durante las mediciones de la zafra 2017 - 2018.
Los parámetros de pH, dureza, conductividad, salinidad, y sólidos suspendidos fueron determinados tomando en cuenta las perdidas en las chumaceras de ambos tándems y las perdidas por evaporación y arrastre dando esto un total de 22.86 10^{-3} m^3/s (362.4 gpm). Se realizaron balances de masa para determinar estos parámetros. Todos los valores cumplen con las condiciones de operación de una torre de enfriamiento a excepción del pH, siendo estos los siguientes: pH 6.5 – 9.2; Conductividad < 3,300 µS/cm; Dureza < 750 ppm; Salinidad < 300 ppm; Sólidos suspendidos < 25; Grasas y aceites sin presencia.

Cuadro 29. Inversión para sistema de recirculación de la torre al tanque elevado.

Ítem	Factor	Monto	
Costo insumos planta	-	Q	226,860.24
Instalación	20.0%	Q	10,944.53
Eléctrico	7.0%	Q	12,049.63
Instrumentos	6.0%	Q	10,328.26
Contingencia	5.0%	Q	11,343.01
Costo inversión inicial		Q	278,331.48

Notas: el cuadro anterior muestra la inversión inicial para el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado. Este dato fue obtenido con los factores del Perry 1997.

Cuadro 30. Inversión para sistema de recirculación del tanque elevado a molinos.

Ítem	Factor	Monto	
Costo insumos planta	-	Q	14,088.28
Instalación	20.0%	Q	2,817.66
Eléctrico	7.0%	Q	-
Instrumentos	6.0%	Q	-
Contingencia	5.0%	Q	704.41
Costo inversión inicial		Q	18,032.99

Notas: el cuadro anterior muestra la inversión inicial para el sistema de recirculación del tanque elevado al área de molinos. Este dato fue obtenido con los factores del Perry 1997.

Cuadro 31. Costos de operación y mantenimiento del sistema de recirculación.

Costos de operación y mantenimiento del sistema de recirculación de la torre de enfriamiento a tanque elevado y del sistema del tanque elevado a molinos.

Costo	Torre de enfriamiento a tanque elevado		Tanque elevado a molinos	
Costos de operación en una zafra	Q	41,401.74	Q	-
Costo de mantenimiento en una zafra	Q	13,611.61	Q	845.30
TOTAL	Q	55,013.36	Q	845.30

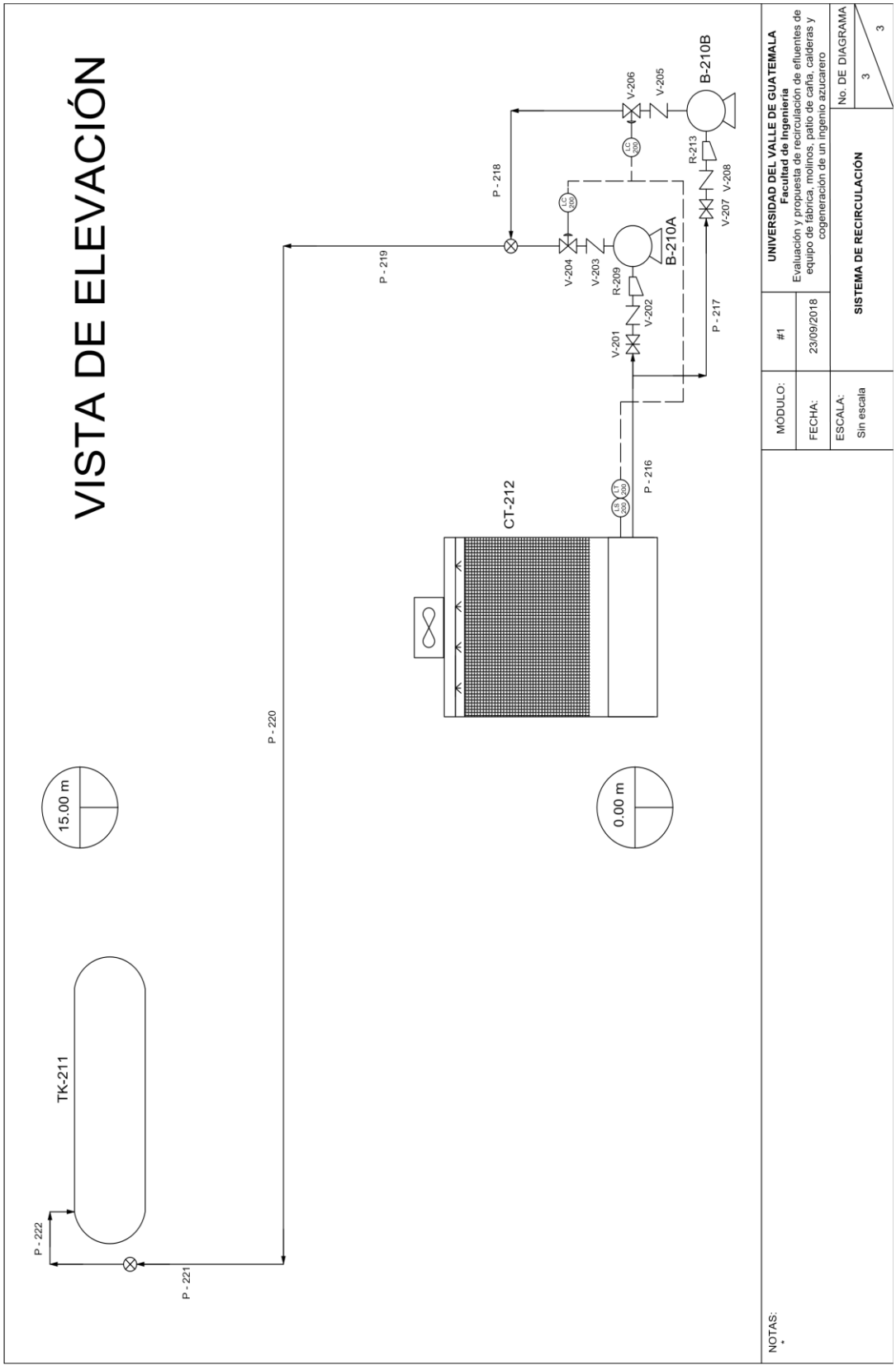
Notas: Los costos de operación se obtuvieron a partir de la energía consumida por los equipos y costo de energía proporcionada por el ingenio de Q 0.54 kWh. Esta energía se obtuvo al multiplicar la potencia de los equipos con las horas de trabajo por zafra, siendo estas de 3840 h asumiendo un tiempo de operación de 24 horas al día por 160 días consecutivos. Los costos de mantenimiento se obtuvieron al multiplicar el costo total de equipos, tuberías y accesorios por un factor de 0.06, el cual se obtuvo del Perry 1997. Con este sistema se ahorrará la extracción de 841.9 m3/día en el área de molinos.

Cuadro 32. Identificación de los equipos en el diagrama P&ID.

Identificación	Descripción	Especificaciones
LS – 200	Sensor de nivel de la piscina de la torre	rango de 0 - 5.5 m
LT-200	Transmisor de nivel de la piscina de la torre	4 a 20 mA
LC-200	Controlador de nivel de la piscina de la torre	4 a 20 mA
V-201	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-202	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-203	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-204	Válvula de globo	0.15 m (6")
V-205	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-206	Válvula de globo	0.15 m (6")
V-207	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-208	Válvula de cheque	0.15 m (6")
R-209	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
B-211A	Bomba centrífuga	14.9 kW
B-211B	Bomba centrífuga	14.9 kW
TK-212	Tanque de almacenamiento de agua	7 m^3
CT-213	Torre de enfriamiento	Flujo a contracorriente, de una celda y material de relleno de HPVC[1]
R-214	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
P-216	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-217	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-218	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-219	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-220	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-221	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-222	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s

[1] Las especificaciones de la torre de enfriamiento se pueden consultar en el módulo elaborado por Jackeline Hernández.

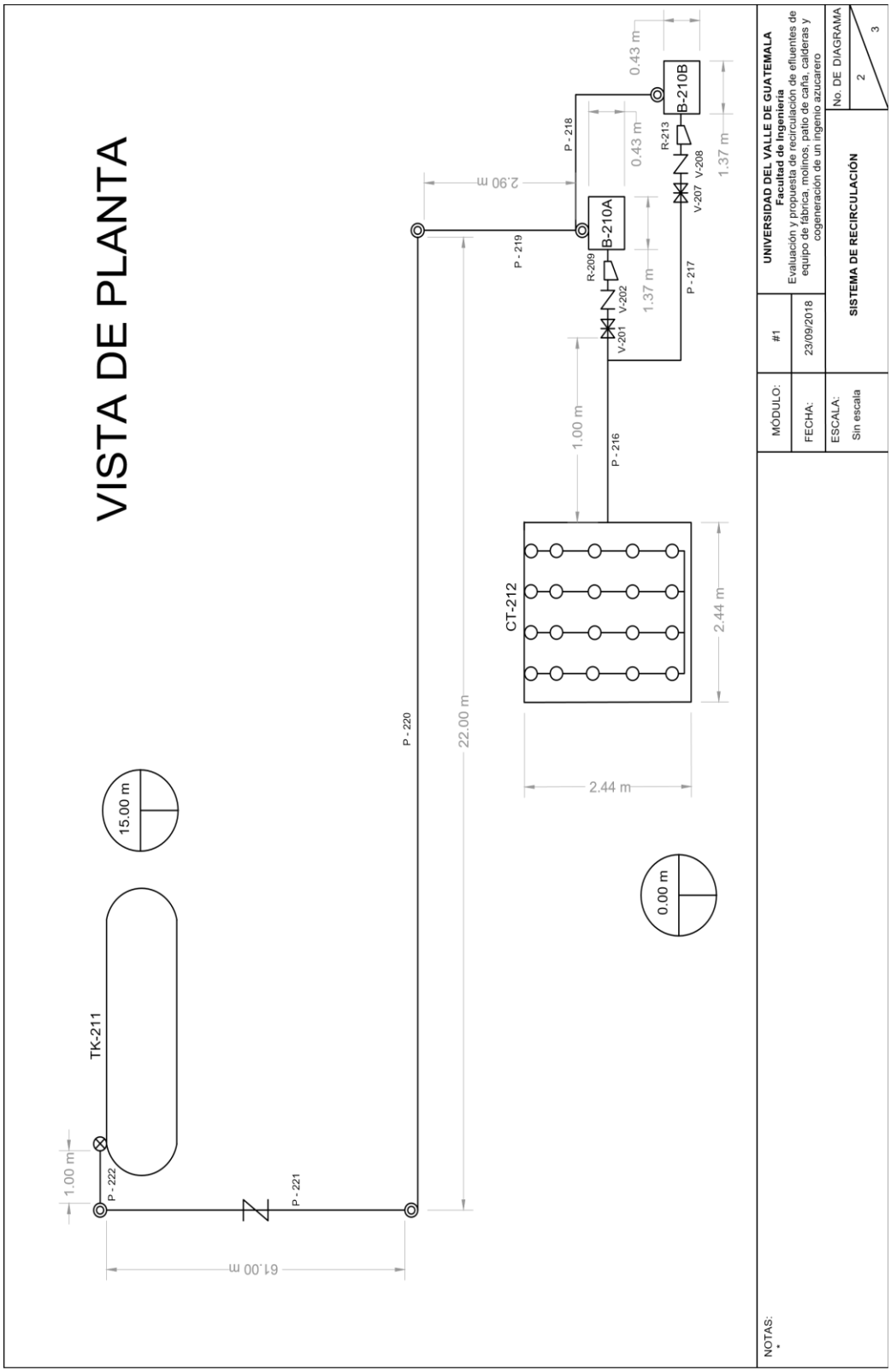
Figura 23. P&ID del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado.



Cuadro 33. Clave de variables para identificación de los equipos en el diagrama.

Identificación	Descripción	Especificaciones
V-201	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-202	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-207	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-208	Válvula de cheque	0.15 m (6")
R-209	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
B-211A	Bomba centrífuga	14.9 kW
B-211B	Bomba centrífuga	14.9 kW
TK-212	Tanque de almacenamiento de agua	7 m^3
CT-213	Torre de enfriamiento	Flujo a contracorriente, de una celda y material de relleno de HPVC
R-214	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
P-216	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-217	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-218	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-219	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-220	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-221	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-222	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s

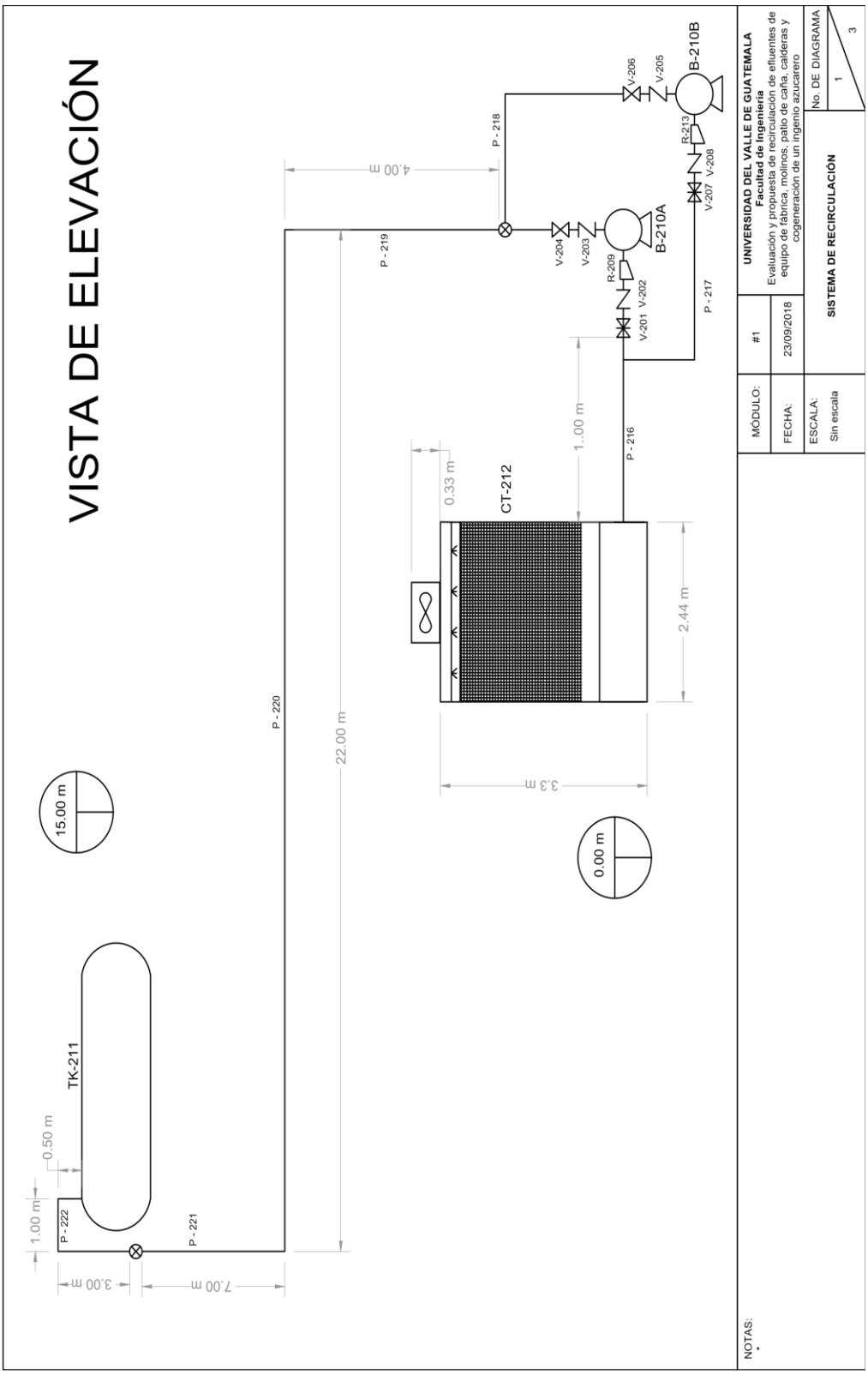
Figura 24. Dimensiones del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado.



Cuadro 34. Identificación variables de los equipos en el diagrama anterior.

Identificación	Descripción	Especificaciones
V-201	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-202	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-203	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-204	Válvula de globo	0.15 m (6")
V-205	Válvula de cheque	0.15 m (6")
V-206	Válvula de globo	0.15 m (6")
V-207	Válvula de compuerta	0.15 m (6")
V-208	Válvula de cheque	0.15 m (6")
R-209	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
B-211A	Bomba centrífuga	14.9 kW
B-211B	Bomba centrífuga	14.9 kW
TK-212	Tanque de almacenamiento de agua	7 m^3
CT-213	Torre de enfriamiento	Flujo a contracorriente, de una celda y material de relleno de HPVC
R-214	Reducción excéntrica	0.15 - 0.10 (6"- 4")
P-216	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-217	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-218	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-219	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-220	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-221	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s
P-222	Tubería acero al carbón	0.15 m (6") cédula 40; flujo volumétrico de 0.048 m^3/s

Figura 25. Dimensiones del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado.



Cuadro 35. Identificación de variab les del diagrama anterior.

Identificación	Descripción	Especificaciones
P - 223	Tubería acero al carbón	0.20 m (8") cédula 40; flujo volumétrico de 0.067 m^3/s
P - 224	Tubería acero al carbón	0.20 m (8") cédula 40; flujo volumétrico de 0.067 m^3/s
P - 225	Tubería acero al carbón	0.20 m (8") cédula 40; flujo volumétrico de 0.067 m^3/s
P - 226	Tubería acero al carbón	0.20 m (8") cédula 40; flujo volumétrico de 0.067 m^3/s
P - 227	Tubería acero al carbón	0.20 m (8") cédula 40; flujo volumétrico de 0.067 m^3/s
TK-212	Tanque de almacenamiento de agua	7 m^3
V-227	Válvula de compuerta	0.20 m (8")

Figura 26. Dimensiones del sistema de recirculación del tanque elevado a molinos.

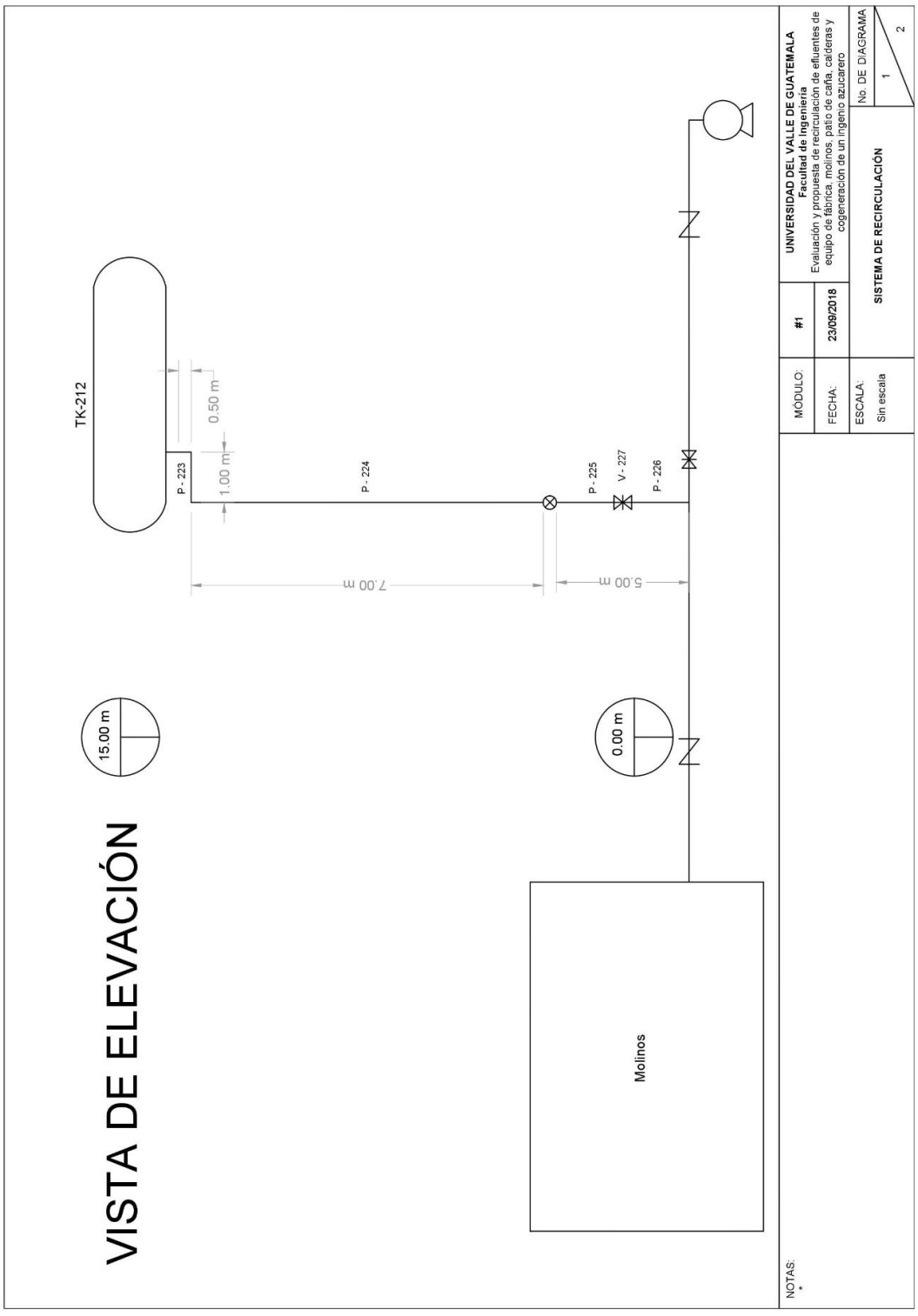
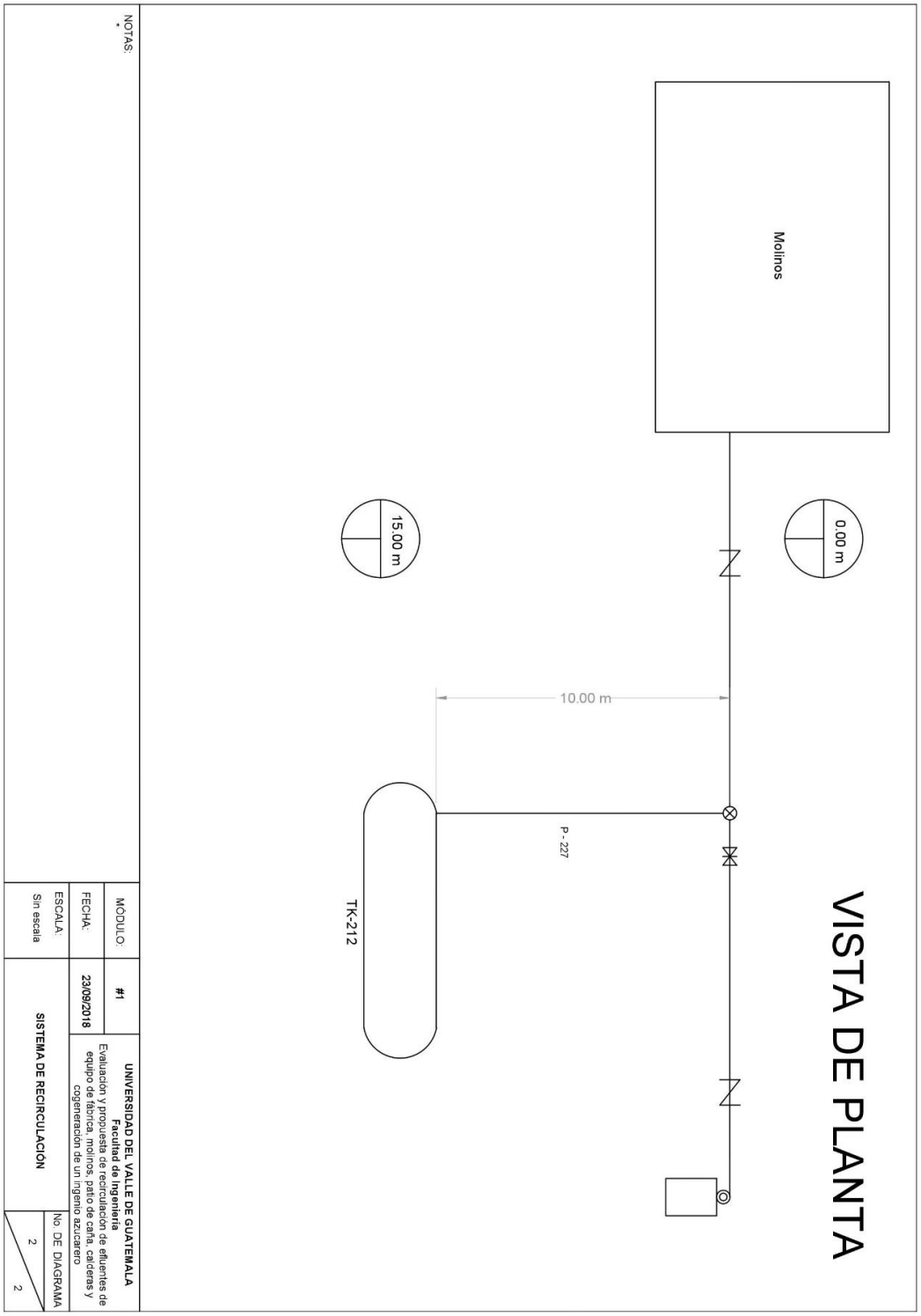


Figura 27.Dimensiones del sistema de recirculación del tanque elevado a molinos.



B. Módulo 2: Área de patio de caña

1. Propiedades físicas y químicas

Cuadro 36. Caudales de los efluentes de equipos de enfriamiento en patio

Sector	Equipo	Caudal (10^{-3} m^3/s)	Temperatura (± 0.9 ºC)	pH (± $0.2*10^{-1}$)	Conductividad (± 0.2 µS /cm)	Dureza total (± 7.8 ppm $CaCO_3$)	Salinidad (± 0.2 ppm)	Presencia Grasas y aceites	Sólidos suspendidos (±0.14 ppm)
Tándem A	Virador A	0.7-1.2	29.0-37.0	8.1-8.2	208.7-224.3	125.0-125.0	95.9-106.6	No	5.6
	Reductor Pre-cuchilla A	1.8-2.4	30.0-33.0	8.2-8.5	206.3-231.7	121.7-125.5	95.4-105.5	No	6
	Reductor Picadora A	1.6-2.0	29.5-33.0	8.2-8.4	204.2-236.8	123.9-125.1	94.9-107.9	No	8
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	2.0-2.4	29.0-32.0	8.2-8.5	210.9-232.1	123.9-125.1	97.4-106.3	No	4.5
	Rodamientos desfibradora	1.1-1.6	30.0-32.0	8.2-8.3	210.9-232.1	123.9-125.1	96.8-106.4	No	7.3
	Reductor desfibradora A	0.7-1.5	30.0-32.0	8.2-8.2	191.4-214.4	119.7-131.1	88.1-96.2	No	5
	Caudal total patio A	8.1-11.2	-	-	-	-	-	-	-
Tándem B	Virador B	0.5-0.6	27.0-39.0	8.3-8.4	174.4-213.8	115.1-121.4	81.1-97.6	No	1.2
	Reductor Pre-cuchilla B	0.9-1.6	27.0-30.0	8.3-8.5	173.6-212.7	115.3-120.3	79.3-97.8	No	18
	Reductor Picadora B	1.2-2.8	26.0-31.0	8.3-8.5	173.2-214.0	118.3-120.8	78.5-98.4	No	9
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	0.4-0.8	26.0-29.0	8.3-8.4	173.6-213.9	115.1-121.4	79.4-98.4	No	2.7
	Reductor desfibradora B	0.9-2.0	27.0-28.0	8.3-8.4	174.8-212.5	115.3-120.3	79.6-97.5	No	5.3
	Caudal total patio B	3.9-7.8	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Las mediciones de caudal fueron realizadas en el mes de febrero, marzo y abril de 2018; las mediciones de propiedades químicas y físicas se realizaron en el mes de marzo y abril de 2018. Los rangos fueron determinados con la desviación estándar del valor promedio, ver Cuadro 129 - Cuadro 133 (págs. 290 – 292).

2. Propuesta del sistema de recirculación en patio de caña

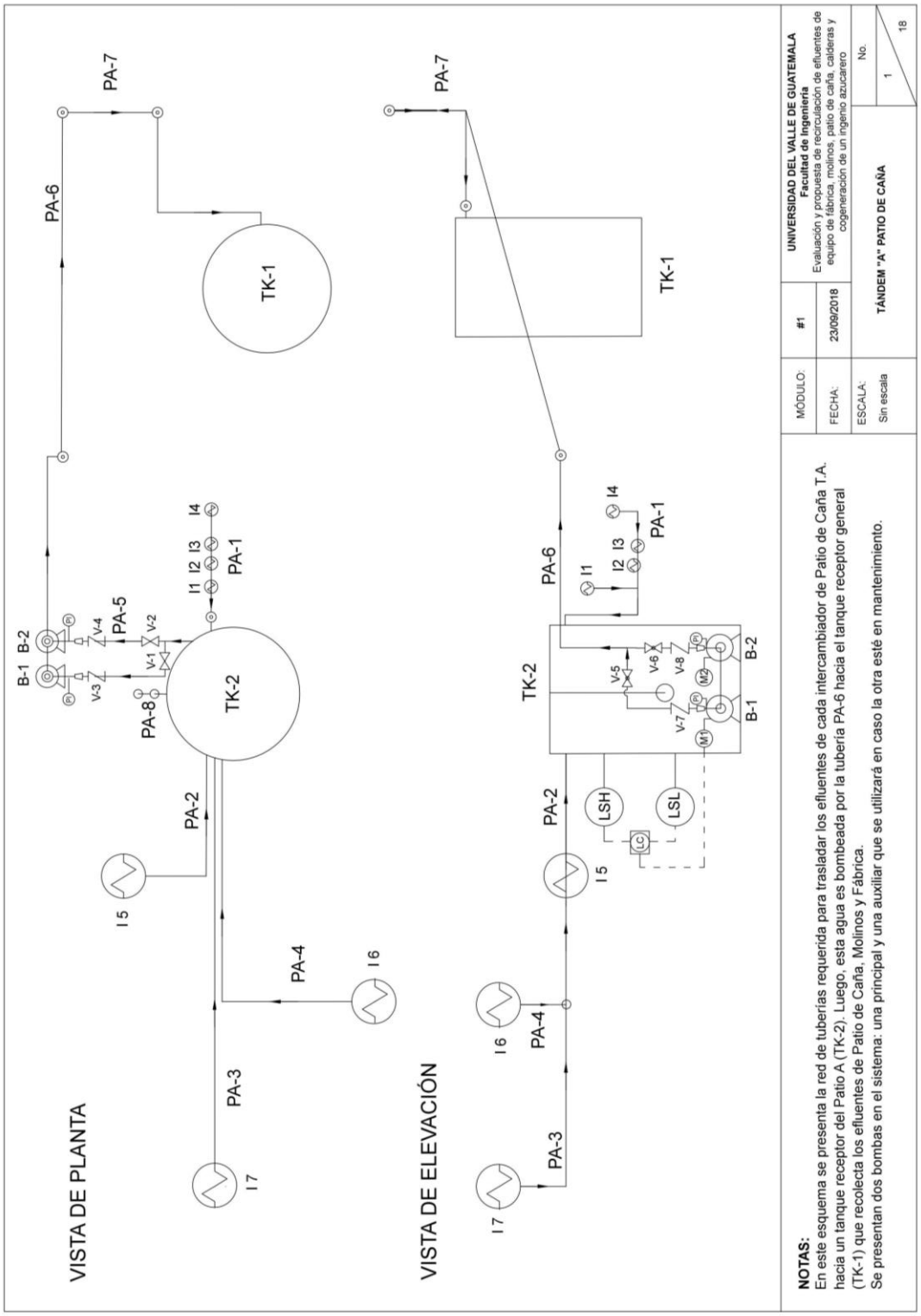
A continuación se muestran las especificaciones de las bombas requeridas para cada tándem de patio, los diagramas P&ID del sistema y esquemas con sus medidas.

Cuadro 37. Bombas requeridas para impulsar el agua del patio de caña a tanque general

Parámetro	Bomba Tándem A	Bomba Tándem B
Caudal	0.01 m^3/s (152 gal/min)	0.006 m^3/s (93 gal/min)
Cabeza	9.8 m (32.1 ft)	14.3 m (46.9 ft)
Potencia del motor	2.2 kW (3 HP)	2.2 kW (3 HP)
Potencia de la bomba	1.5 kW	1.3 kW
Eficiencia	68.00%	57.30%
NPSH requerido	1.3 m (4.2 ft)	0.8 m (2.6 ft)
Modelo	3196 Sti	3196 Sti
Tamaño	2x3-6	1.5x3-8
Diámetro de succión	0.07 m (3 in)	0.07 m (3 in)
Diámetro de descarga	0.05 m (2 in)	0.04 m (1.5 in)
Velocidad	1750 rpm	1750 rpm
Material del impulsor	Acero al carbón	Acero al carbón
Material de la carcasa	Acero al carbón	Acero al carbón

Nota: En este cuadro se presenta acero al carbón como el material del impulsor y carcasa de la bomba, ya que si se instalan tuberías de otro material se dará una corrosión galvánica. Sin embargo, este material debe ser reemplazado por acero galvanizado o acero inoxidable.

Figura 28. Diagrama P&ID tándem A



Cuadro 38. Clave del diagrama P&ID del tándem A

Identificación	Descripción	Especificaciones	Flujos (m^3/s)
I-1	Intercambiador de concha y tubos	Reductor picadora	-
I-2	Intercambiador de concha y tubos	Rodamientos tándem A	-
I-3	Intercambiador de concha y tubos	Rodamientos desfibradora	-
I-4	Intercambiador de concha y tubos	Reductor desfibradora	-
I-5	Intercambiador de concha y tubos	Reductor pre-cuchilla	-
I-6	Intercambiador de concha y tubos	Virador Tándem A	-
I-7	Intercambiador de concha y tubos	Virador Auxiliar	-
PA-1	Tubería acero al carbón	D = 0.064 m (2.5 in) cédula 40	0.006
PA-2	Tubería acero al carbón	D = 0.038 m (1.5 in) cédula 40	0.002
PA-3	Tubería acero al carbón	D = 0.025 m (1.0 in) cédula 40	0.001
PA-4	Tubería acero al carbón	D = 0.025 m (1.0 in) cédula 40	0.001
PA-5	Tubería acero al carbón	D = 0.089 m (3.5 in) cédula 40	0.010
PA-6	Tubería acero al carbón	D = 0.089 m (3.5 in) cédula 40	0.010
PA-7	Tubería acero al carbón	D = 0.102 m (4.0 in) cédula 40	0.015
PA-8	Tubería acero al carbón	D = 0.089 m (3.5 in) cédula 40	0.010
V-1	Válvula de compuerta	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-2	Válvula de compuerta	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-3	Válvula de retención	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-4	Válvula de retención	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-5	Válvula de asiento	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-6	Válvula de asiento	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-7	Válvula de retención	D = 0.089 m (3.5 in)	-
V-8	Válvula de retención	D = 0.089 m (3.5 in)	-
TK-1	Tanque de recirculación general	-	-
TK-2	Tanque Tándem A	-	-
B-1 y B-2	Bomba centrífuga	2x3-6; Potencia: 1.5 kW	-
M-1 y M-2	Motor	2.2 kW (3 HP)	-
PI	Indicador de presión	Manómetro de Bourdon	-
LSH	Sensor de nivel superior	-	-
LSL	Sensor de nivel inferior	-	-
LC	Controlador de nivel	-	-

Nota: En este cuadro se presenta el material de las tuberías utilizadas en el ingenio, ya que si se instalan tuberías de otro material se dará una corrosión galvánica. Sin embargo, estas tuberías deben reemplazarse por tuberías de acero galvanizado.

Figura 29. Medidas del sistema tándem A

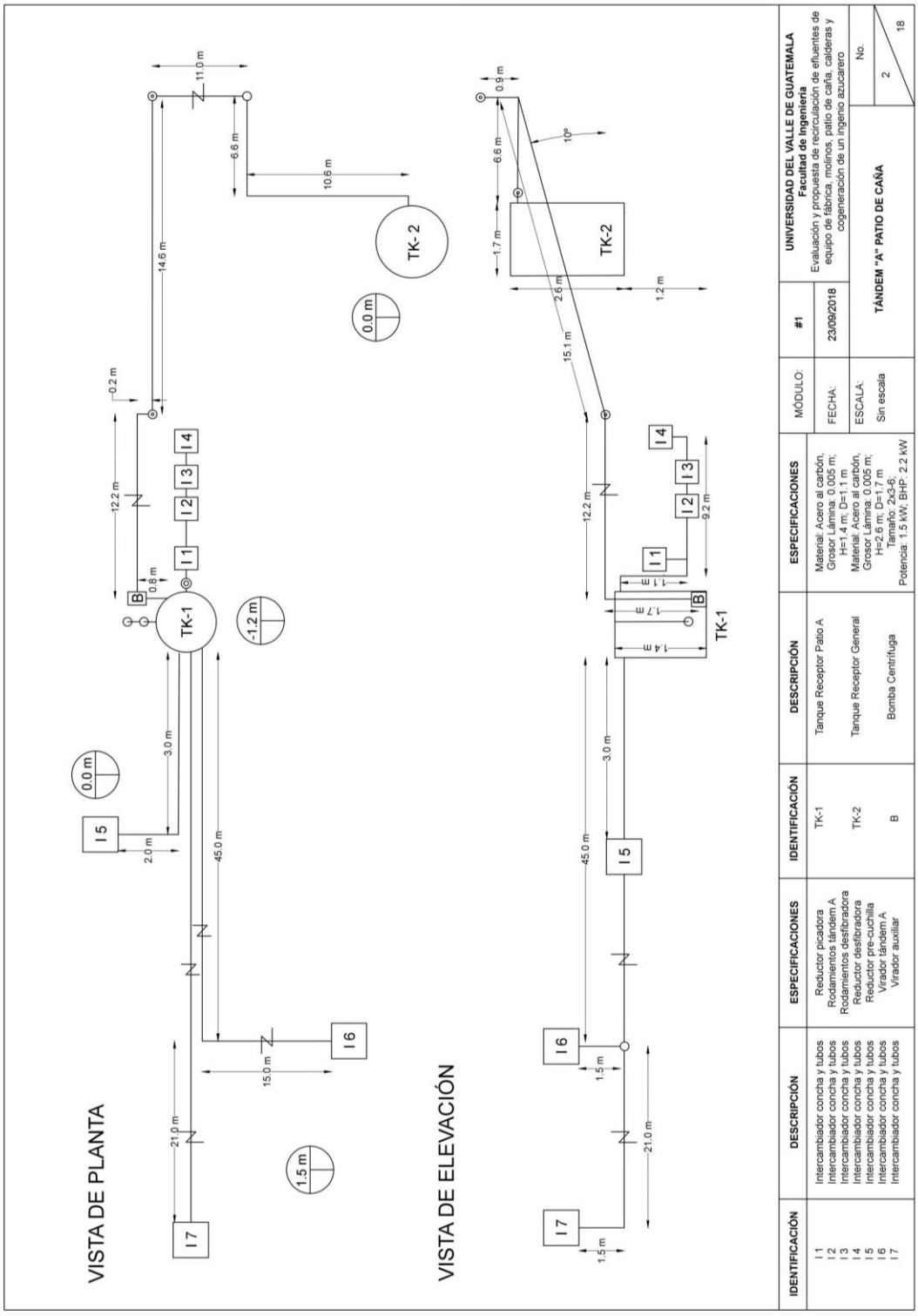
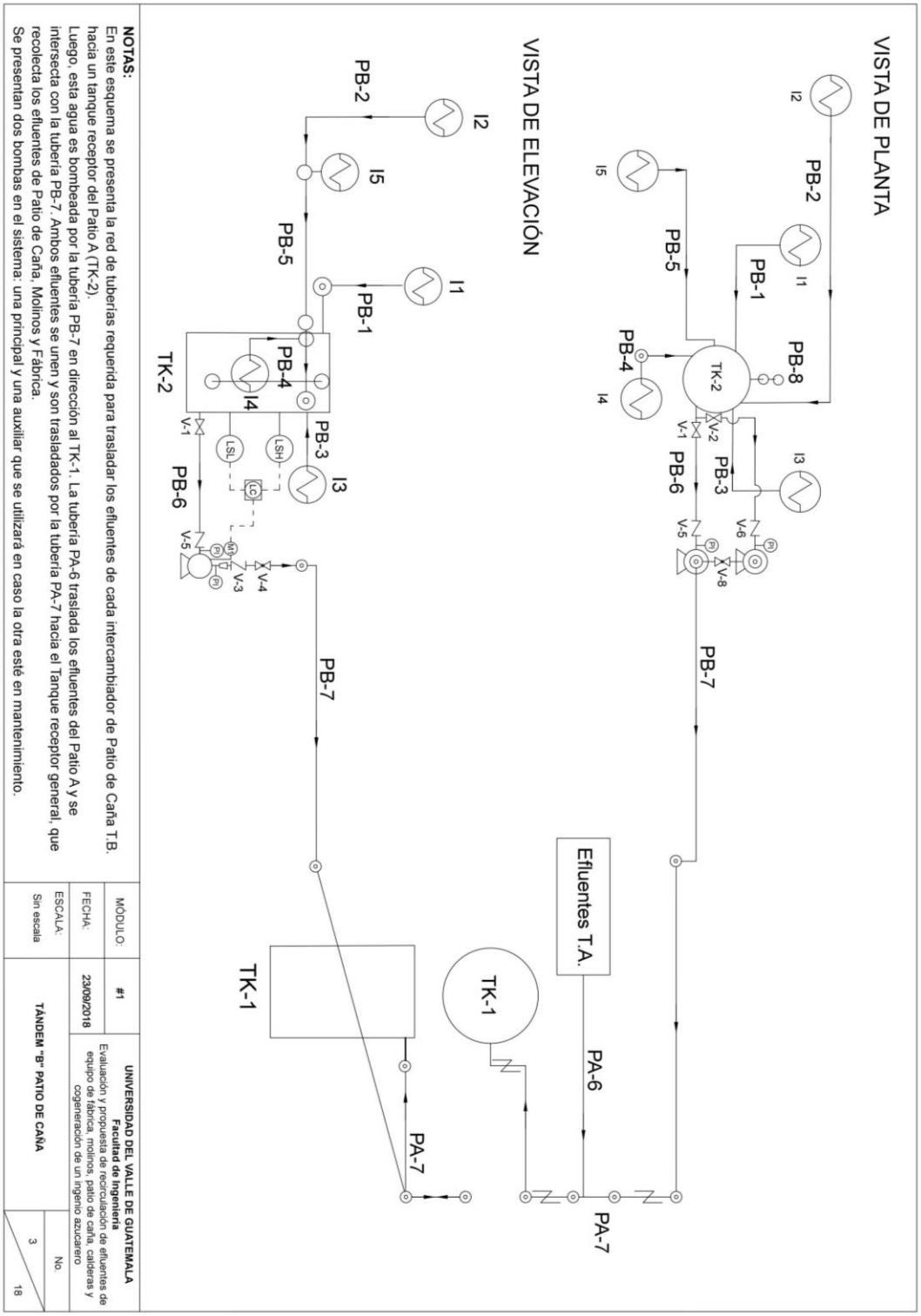


Figura 30. Diagrama P&ID tándem B

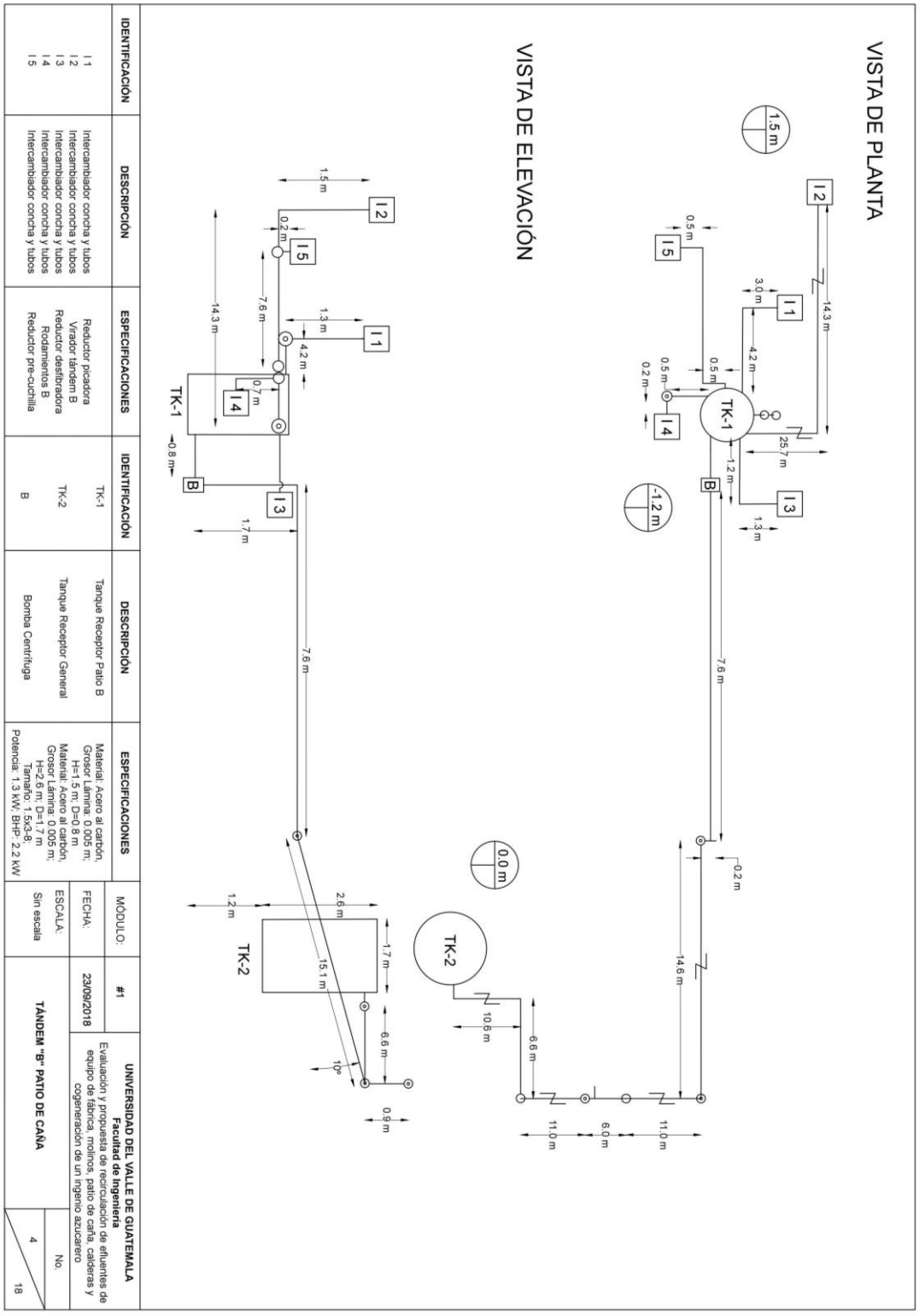


Cuadro 39. Clave del diagrama P&ID del tándem B

Identificación	Descripción	Especificaciones	Flujos (m^3/s)
I-1	Intercambiador de concha y tubos	Reductor picadora	-
I-2	Intercambiador de concha y tubos	Virador Tándem B	-
I-3	Intercambiador de concha y tubos	Reductor desfibradora	-
I-4	Intercambiador de concha y tubos	Rodamientos B	-
I-5	Intercambiador de concha y tubos	Reductor pre-cuchilla	-
PB-1	Tubería acero al carbón	D = 0.038 m (1.5 in) cédula 40	0.002
PB-2	Tubería acero al carbón	D = 0.019 m (0.75 in) cédula 40	0.001
PB-3	Tubería acero al carbón	D = 0.032 m (1.25 in) cédula 40	0.001
PB-4	Tubería acero al carbón	D = 0.019 m (0.75 in) cédula 40	0.001
PB-5	Tubería acero al carbón	D = 0.025 m (1.0 in) cédula 40	0.001
PB-6	Tubería acero al carbón	D = 0.076 m (3.0 in) cédula 40	0.006
PB-7	Tubería acero al carbón	D = 0.064 m (2.5 in) cédula 40	0.006
PA-7	Tubería acero al carbón	D = 0.102 m (4.0 in) cédula 40	0.015
PB-8	Tubería acero al carbón	D = 0.064 m (2.5 in) cédula 40	0.010
V-1	Válvula de compuerta	D = 0.076 m (3.0 in)	-
V-2	Válvula de compuerta	D = 0.076 m (3.0 in)	-
V-3	Válvula de retención	D = 0.076 m (3.0 in)	-
V-4	Válvula de retención	D = 0.076 m (3.0 in)	-
V-5	Válvula de asiento	D = 0.064 m (2.5 in)	-
V-6	Válvula de asiento	D = 0.064 m (2.5 in)	-
V-7	Válvula de retención	D = 0.064 m (2.5 in)	-
V-8	Válvula de retención	D = 0.064 m (2.5 in)	-
TK-1	Tanque de recirculación general	-	-
TK-2	Tanque Tándem B	-	-
B-1 y B-2	Bomba centrífuga	1.5x3-8; Potencia:1.3 kW	-
M-1 y M-2	Motor	2.2 kW (3 HP)	-
PI	Indicador de presión	Manómetro de Bourdon	-
LSH	Sensor de nivel superior	-	-
LSL	Sensor de nivel inferior	-	-
LC	Controlador de nivel	-	-

Nota: En este cuadro se presenta el material de las tuberías utilizadas en el ingenio, ya que si se instalan tuberías de otro material se dará una corrosión galvánica. Sin embargo, estas tuberías deben reemplazarse por tuberías de acero galvanizado.

Figura 31. Medidas del sistema tándem B



IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
I 1	Intercambiador concha y tubos	Reductor picadora
I 2	Intercambiador concha y tubos	Virador tándem B
I 3	Intercambiador concha y tubos	Reductor desfibradora
I 4	Intercambiador concha y tubos	Rodamientos B
I 5	Intercambiador concha y tubos	Reductor pre-cuchilla

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
TK-1	Tanque Receptor Patio B	Material: Acero al carbón; Grosor Lámina: 0.005 m; H=1.5 m; D=0.8 m
TK-2	Tanque Receptor General	Material: Acero al carbón; Grosor Lámina: 0.005 m; H=2.6 m; D=1.7 m
B	Bomba Centrífuga	Tamaño: 1.5x2-8; Potencia: 1.3 KW; BHP: 2.2 KW

MÓDULO:	
FECHA:	23/09/2018
ESCALA:	Sin escala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de equipo de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

#1	No.
TÁNDEM "B" PATIO DE CAÑA	4 / 18

3. Diseño de tanques de almacenamiento calculados a partir del caudal máximo

A continuación se muestran las especificaciones y esquemas del tanque general, tanque tándem A y tanque tándem B, calculados a partir del caudal máximo y un tiempo de residencia de 180 s.

Cuadro 40. Especificaciones del diseño de tanques calculados a partir del caudal máximo

Descripción	Tanque general	Tanque Tándenm "A"	Tanque Tándem "B"
Flujo máximo (m^3/s)	0.048	0.011	0.008
Tiempo de residencia (s)	120	120	120
Diámetro del tanque (m)	2.0	1.4	1.1
Capacidad total del tanque (m^3)	6.7	1.5	1.0
BCL (Nivel de capacidad inferior) (m)	0.2	0.1	0.1
TCL (Nivel de capacidad superior) (m)	2.3	1.1	1.2
Volumen real del tanque (m^3)	7.9	1.8	1.2
Altura de las bases (m)	0.2	0.2	0.2
Diámetro de la base (m)	2.5	1.8	1.6
Altura final del tanque desde el suelo (m)	2.7	1.4	1.5
Relación H/D	1.3	1.0	1.2

Nota: Los parámetros de diseño de los tanques fueron calculados según el estándar Tanques de Acero para Agua de AWWA. Los datos calculados intermedios de estos resultados se muestran en el Cuadro 153 (pág. 308).

Figura 32. Esquema del tanque general calculado a partir del caudal máximo de entrada

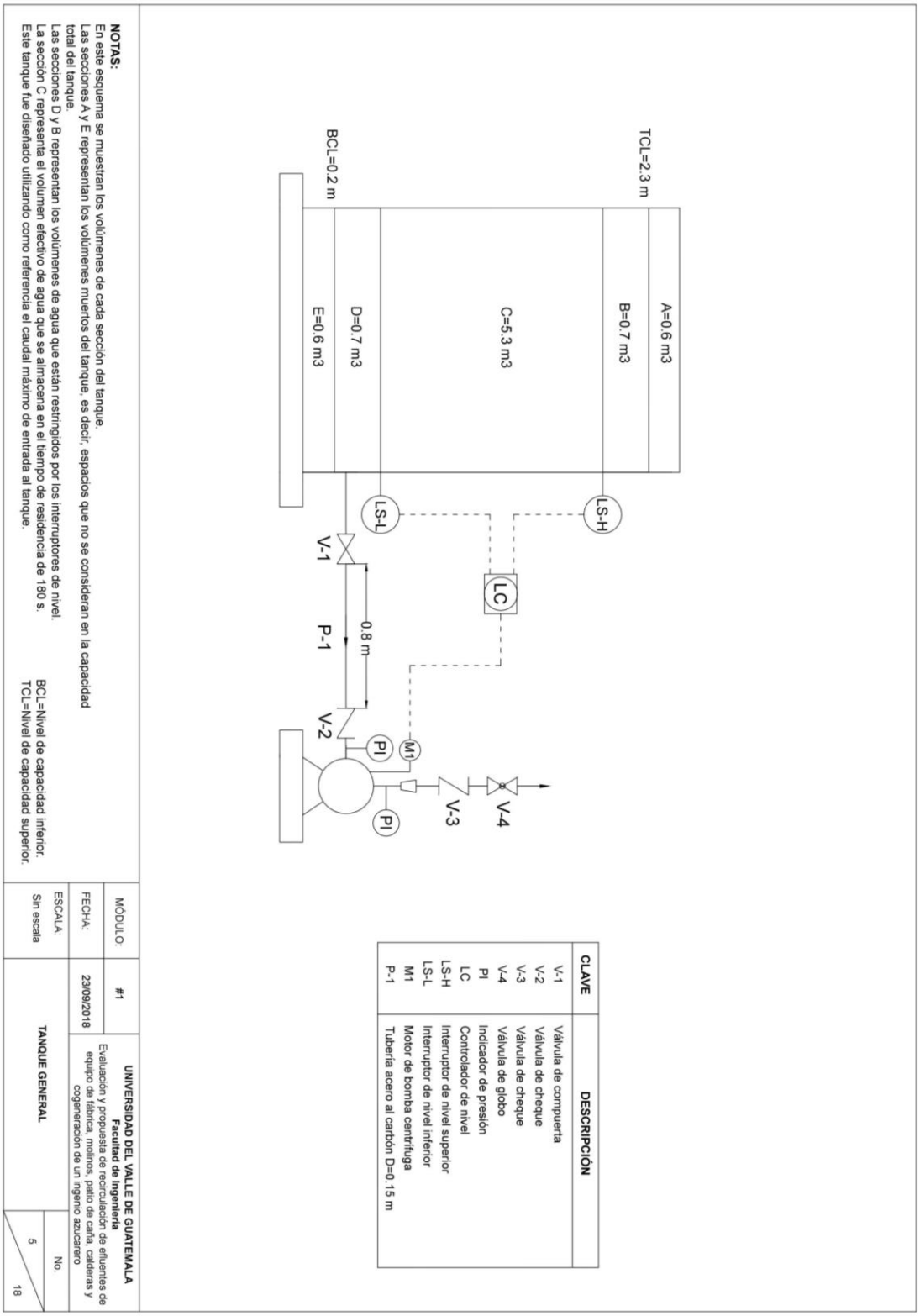


Figura 33. Medidas del tanque general calculado a partir del caudal máximo de entrada

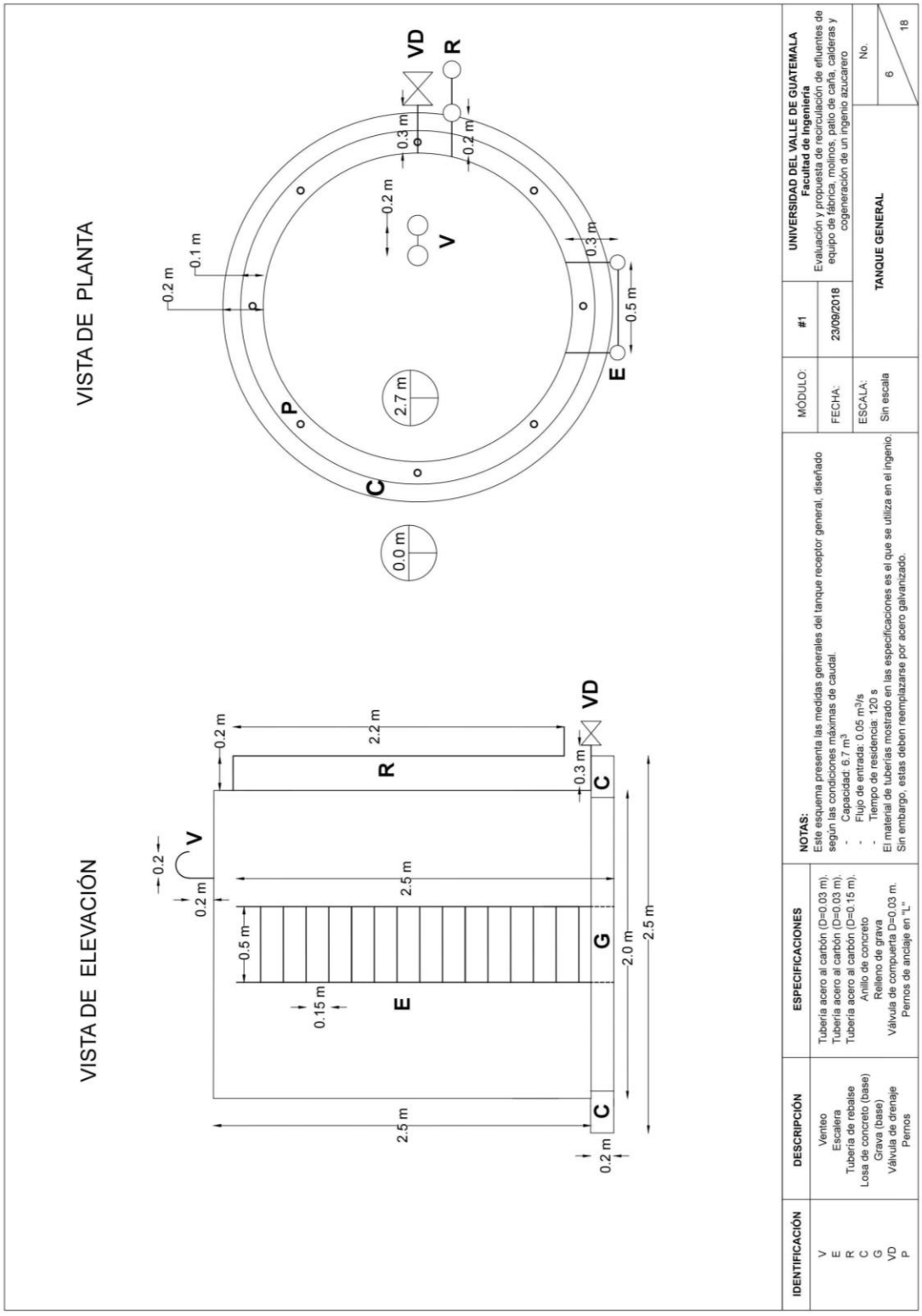


Figura 34. Esquema del tanque T.A. calculado a partir del caudal máximo de entrada

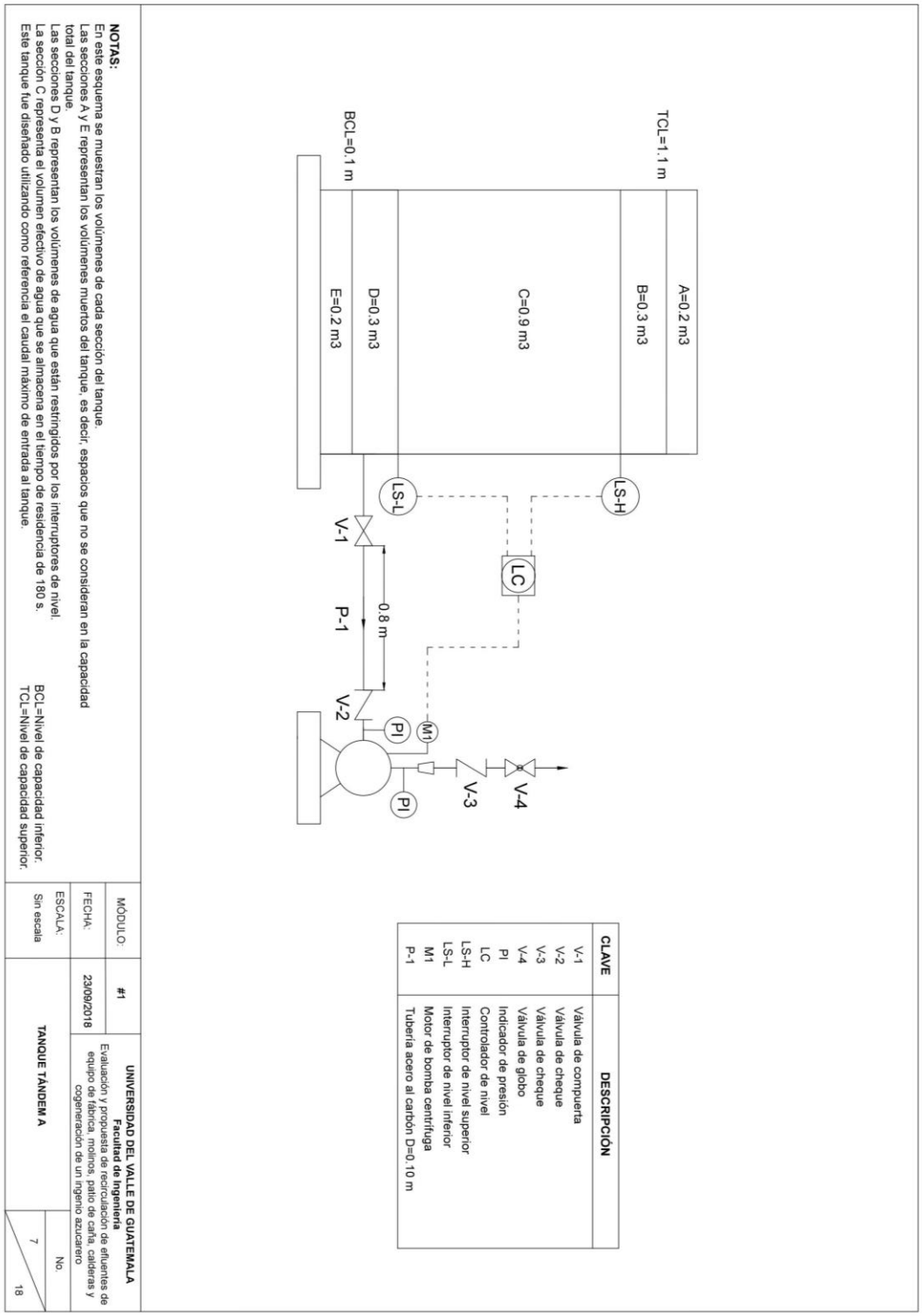


Figura 35. Medidas del tanque T.A. calculado a partir del caudal máximo de entrada

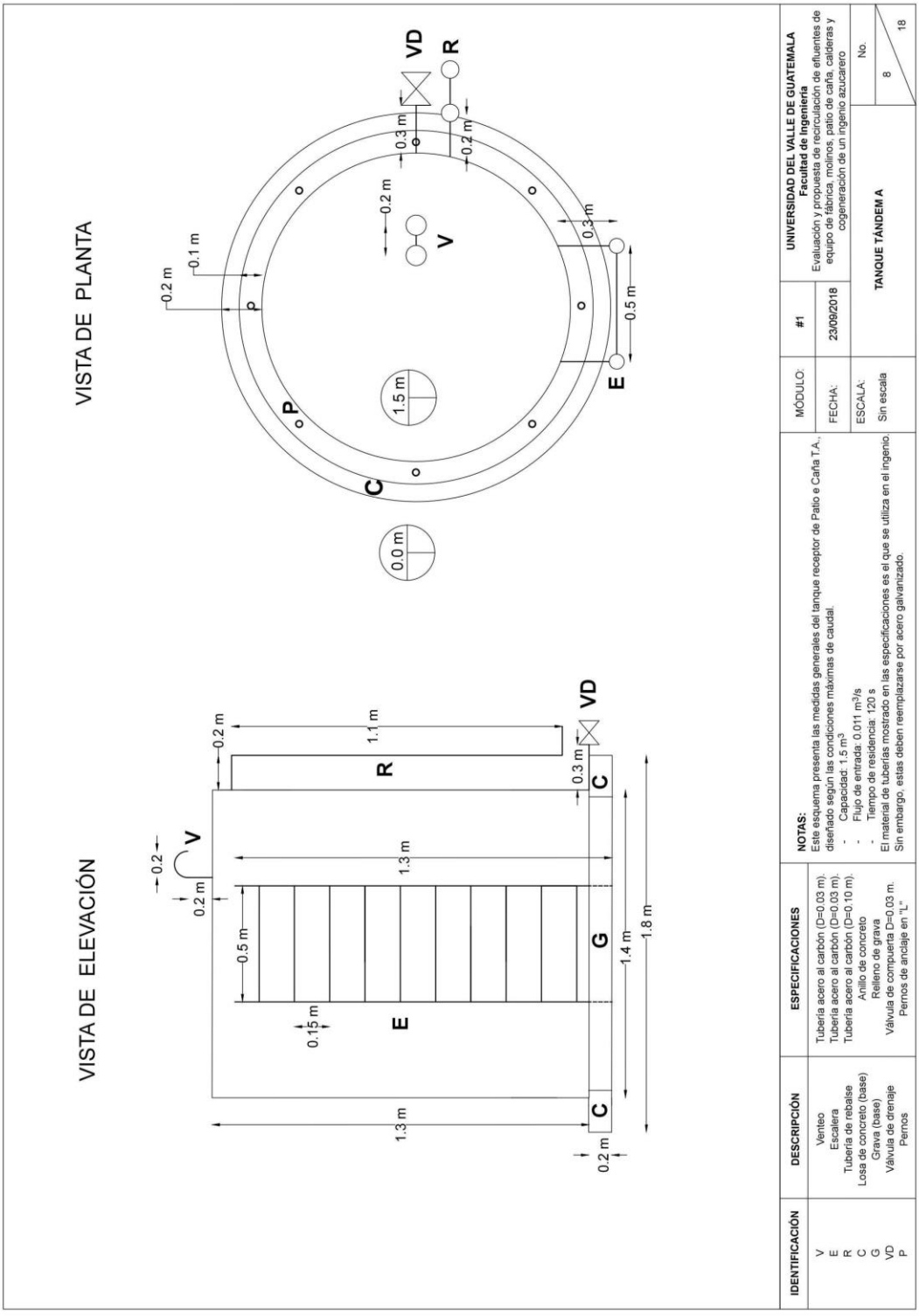


Figura 36. Esquema del tanque T.B. calculado a partir del caudal máximo de entrada

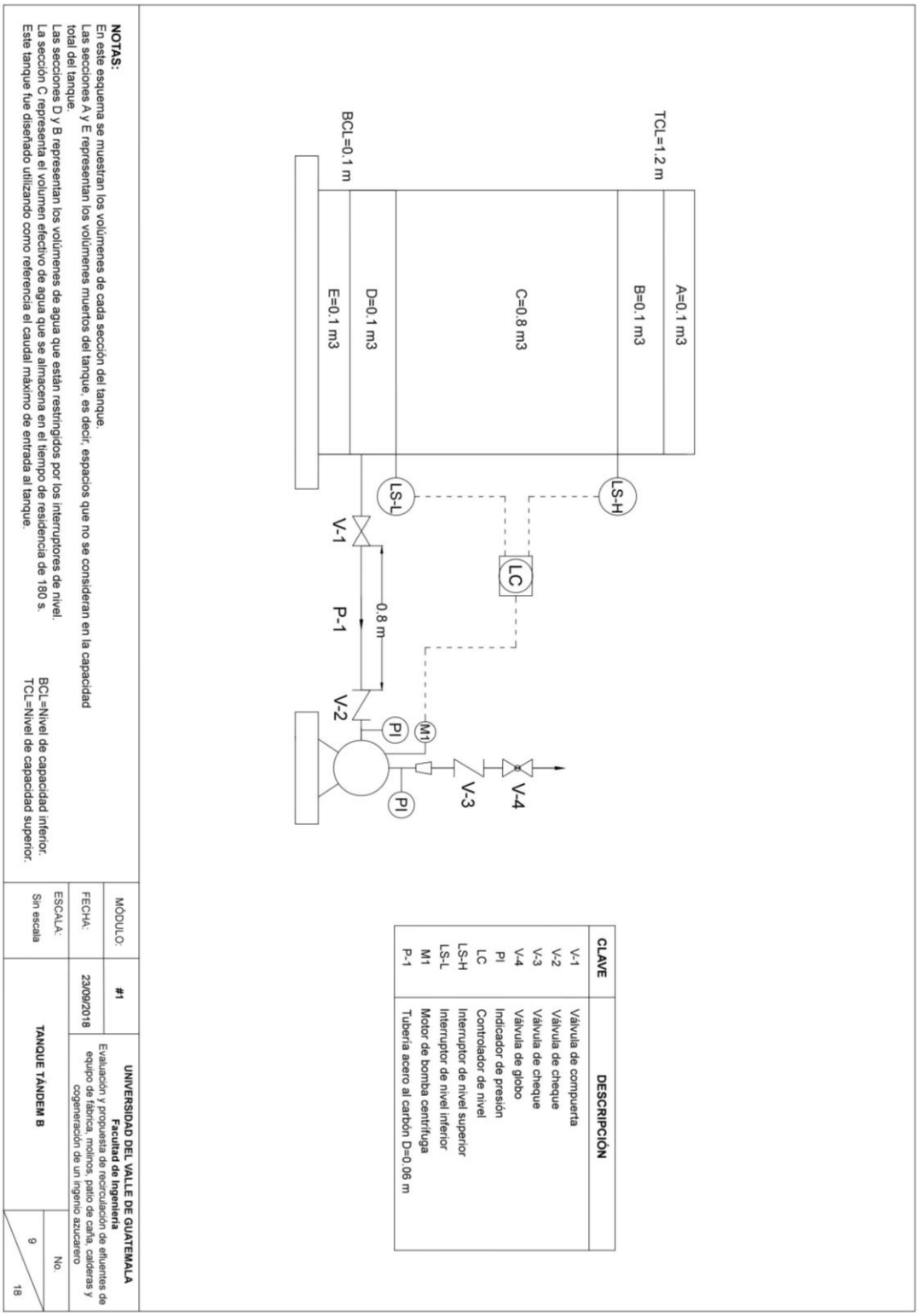
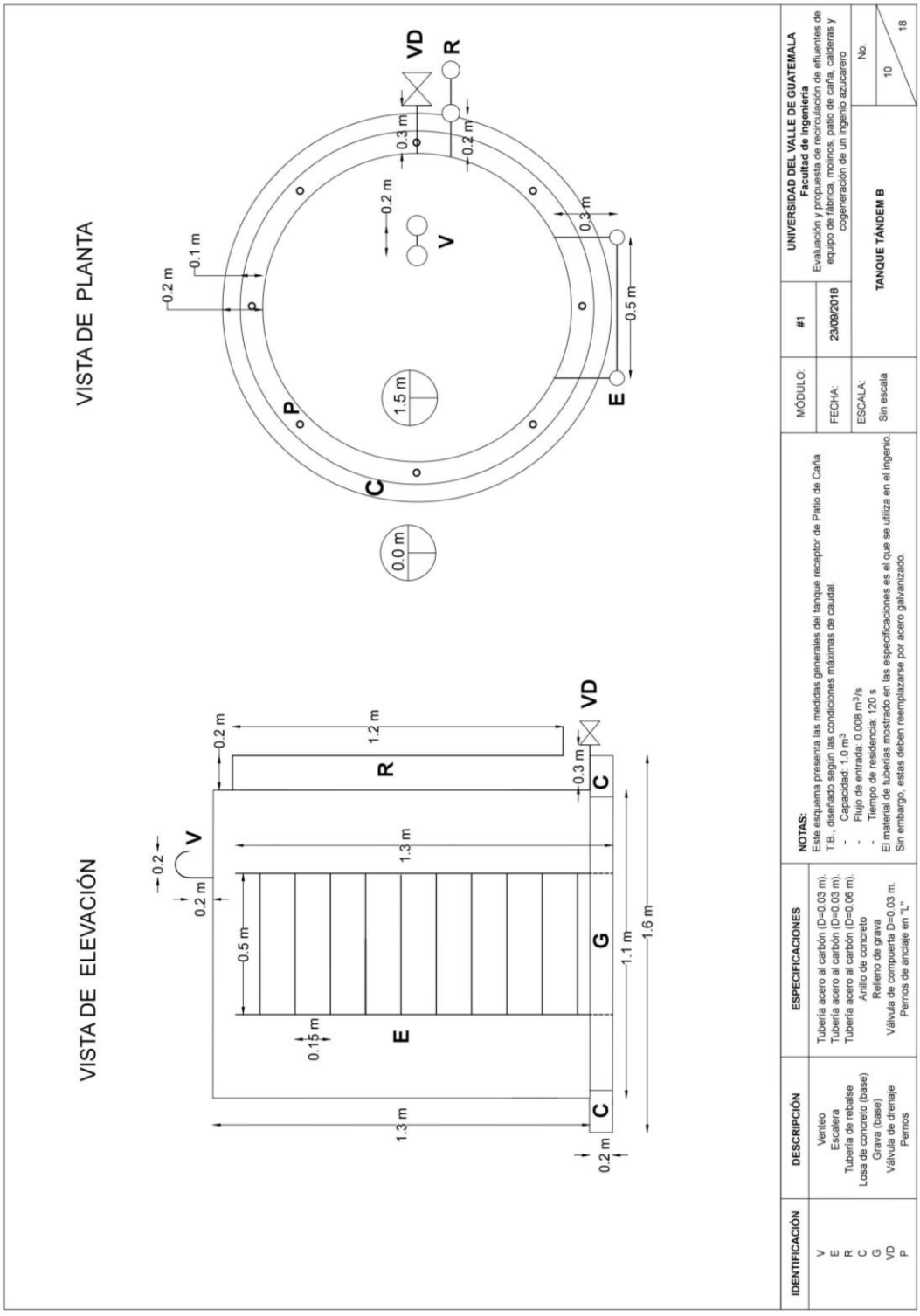


Figura 37. Medidas del tanque T.B. calculado a partir del caudal máximo de entrada



4. Diseño de tanques de almacenamiento calculados según área disponible

A continuación se muestran las especificaciones y esquemas del tanque general, tanque tándem A y tanque tándem B, calculados según las restricciones de área y altura disponibles en el ingenio.

Cuadro 41. Especificaciones del diseño de tanques calculados para área disponible

Descripción	Tanque general	Tanque Tándem "A"	Tanque Tándem "B"
Flujo máximo (m^3/s)	0.039	0.010	0.006
Tiempo de residencia (s)	108	84	84
Diámetro del tanque (m)	1.7	1.1	0.8
Capacidad total del tanque (m^3)	5	1	0.6
BCL (Nivel de capacidad inferior) (m)	0.2	0.1	0.1
TCL (Nivel de capacidad superior) (m)	2.3	1.1	1.2
Volumen real del tanque (m^3)	5.9	1.2	0.7
Altura de las bases (m)	0.2	0.2	0.2
Diámetro de la base (m)	2.2	1.6	1.3
Altura final del tanque desde el suelo (m)	2.6	1.4	1.5
Relación H/D	1.4	1.1	1.6

Nota: Los parámetros de diseño de los tanques fueron calculados según el estándar Tanques de Acero para Agua de AWWA. Los datos calculados intermedios de estos resultados se muestran en el Cuadro 154 (pág. 309).

Figura 38. Esquema del tanque general calculado segúnárea disponible en ingenio

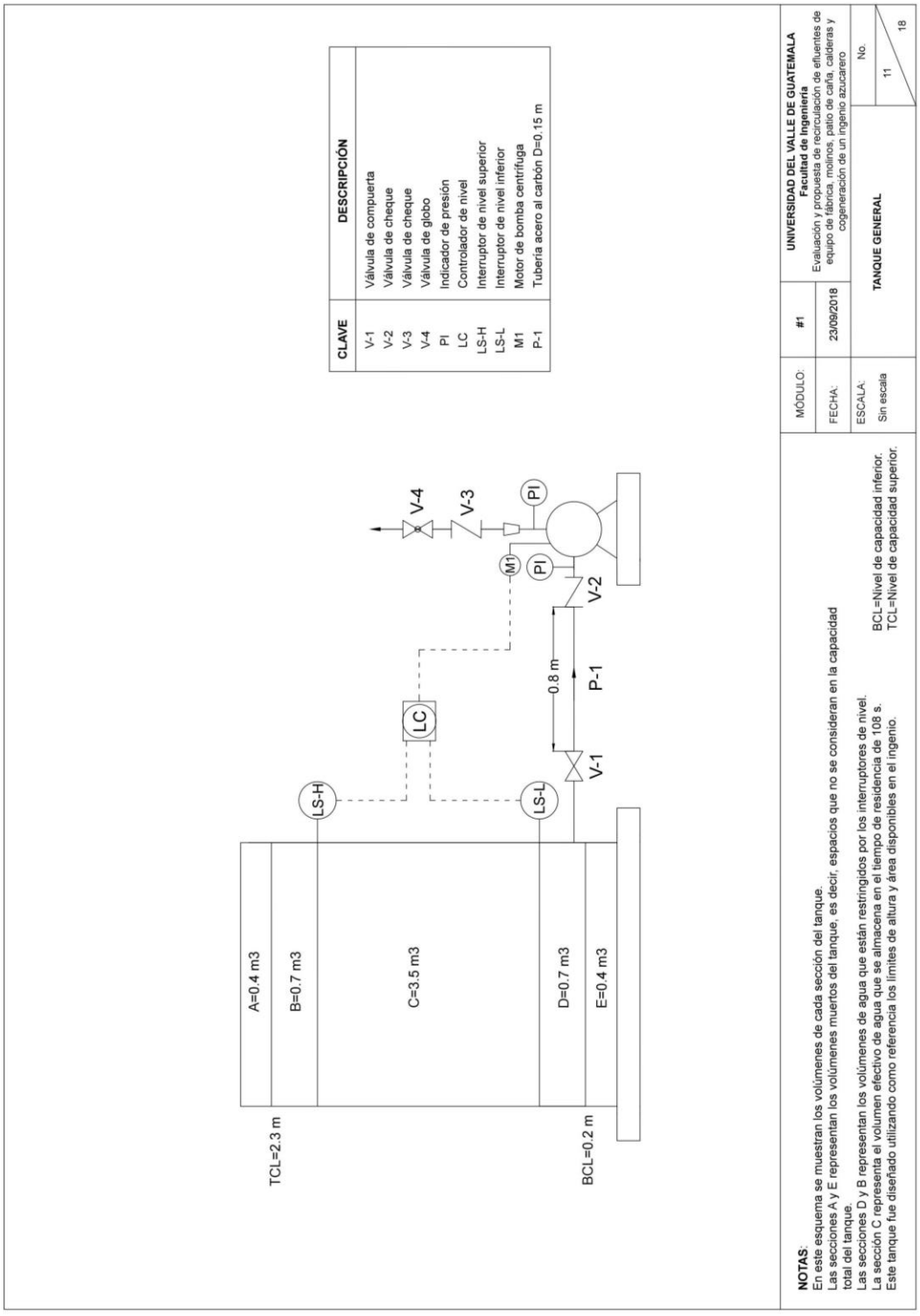
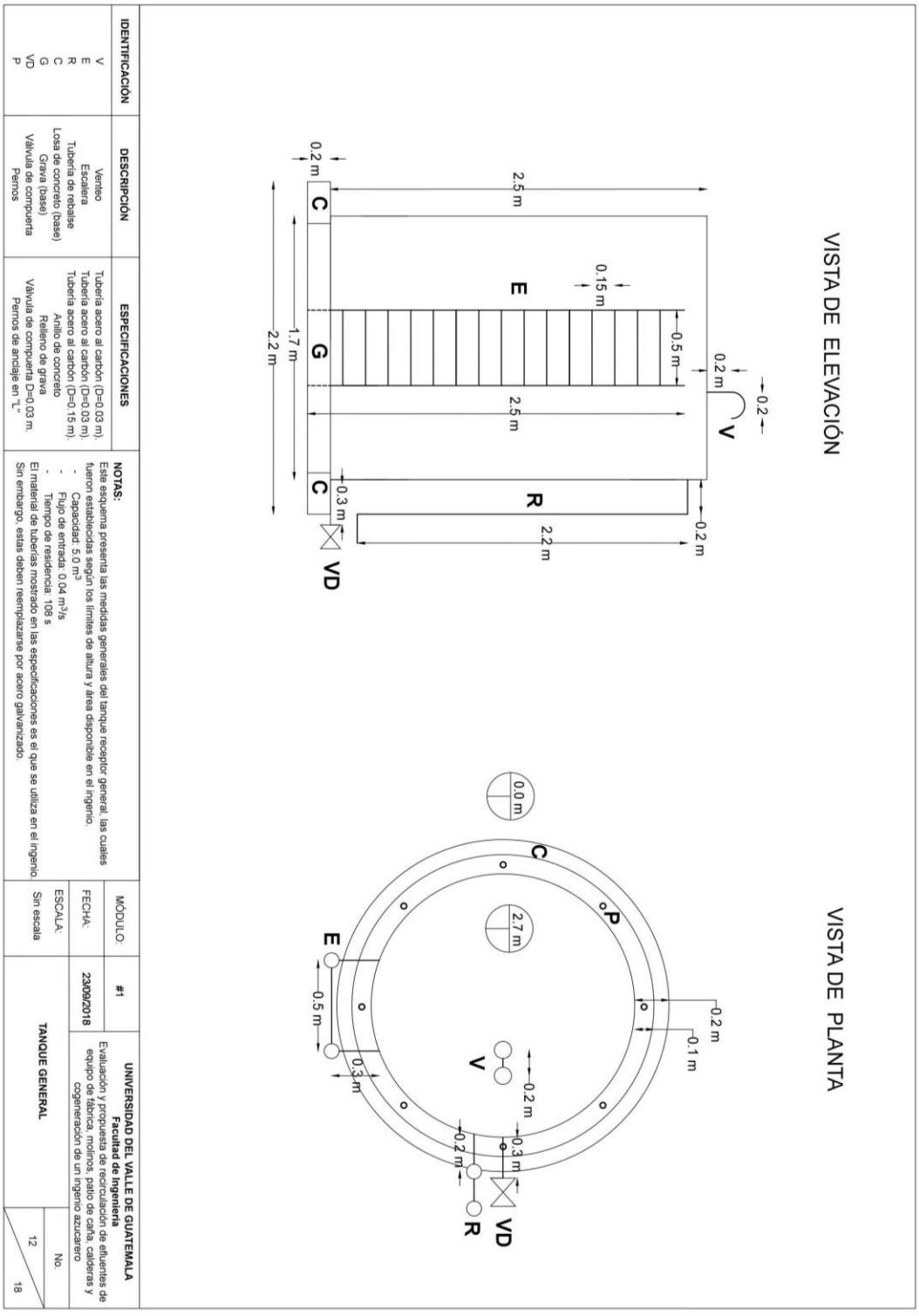


Figura 39. Medidas del tanque general calculado según área disponible en ingenio



IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
V	Venteo	Tubería acero al carbón (D=0.03 m).
E	Escalera	Tubería acero al carbón (D=0.03 m).
R	Tubería de rebalse	Tubería acero al carbón (D=0.15 m).
C	Losa de concreto (base)	Anillo de concreto
G	Grava (base)	Relleno de grava
VD	Válvula de compuerta	Válvula de compuerta D=0.03 m.
P	Pernos	Pernos de anclaje en "L"

NOTAS:
Este esquema presenta las medidas generales del tanque receptor general, las cuales fueron establecidas según los límites de altura y área disponible en el ingenio.
- Capacidad: 5.0 m^3
- Flujo de entrada: 0.04 m^3/s
- Tiempo de residencia: 108 s

El material de tuberías mostrado en las especificaciones es el que se utiliza en el ingenio. Sin embargo, estas deben reemplazarse por acero galvanizado.

MÓDULO:

FECHA: 23/09/2018

ESCALA: Sin escala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de equipo de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

#1

No. 12 / 18

TANQUE GENERAL

Figura 40. Esquema del tanque T.A. calculado según área disponible en ingenio

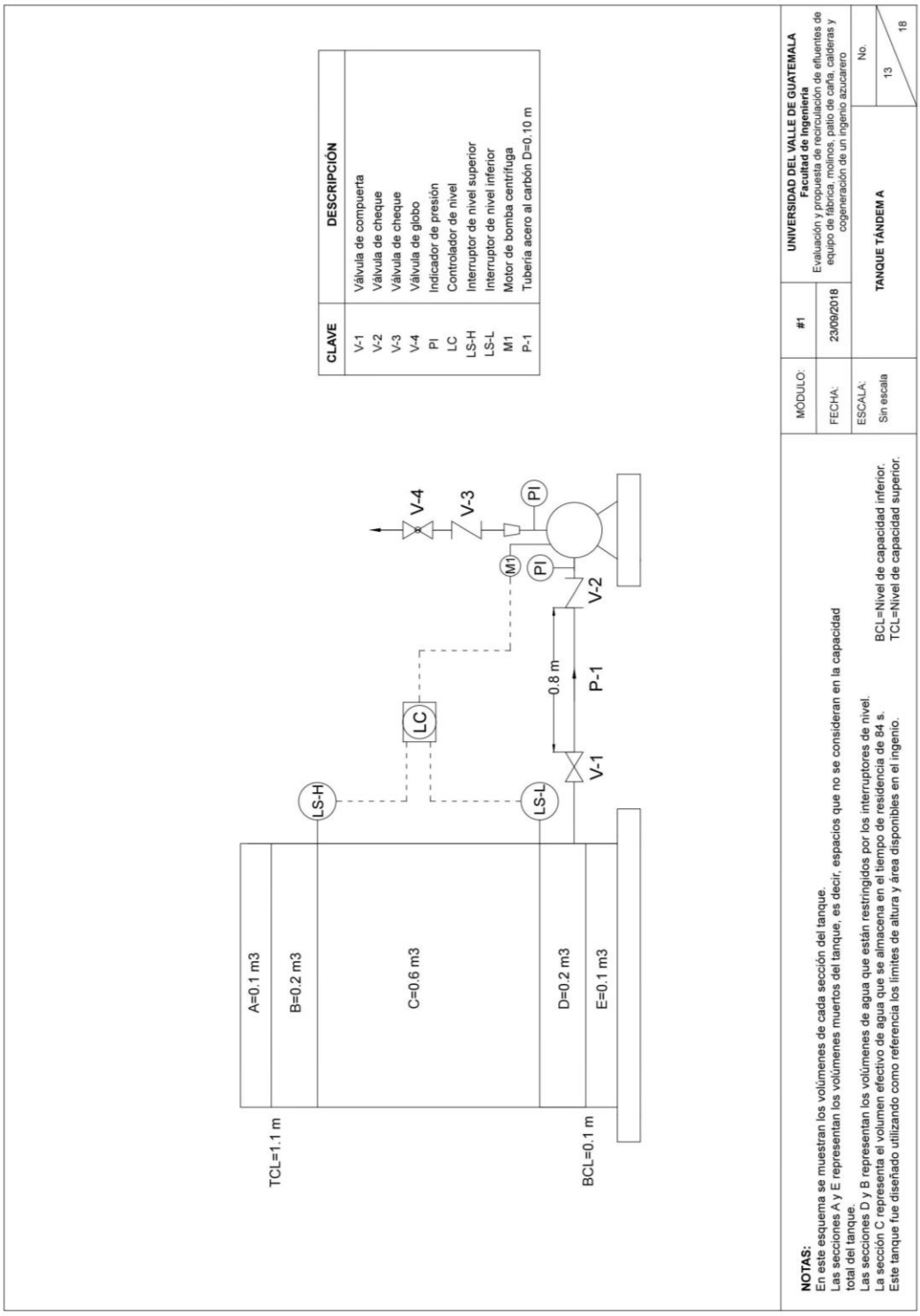


Figura 41. Medidas del tanque T.A. calculado según área disponible en ingenio

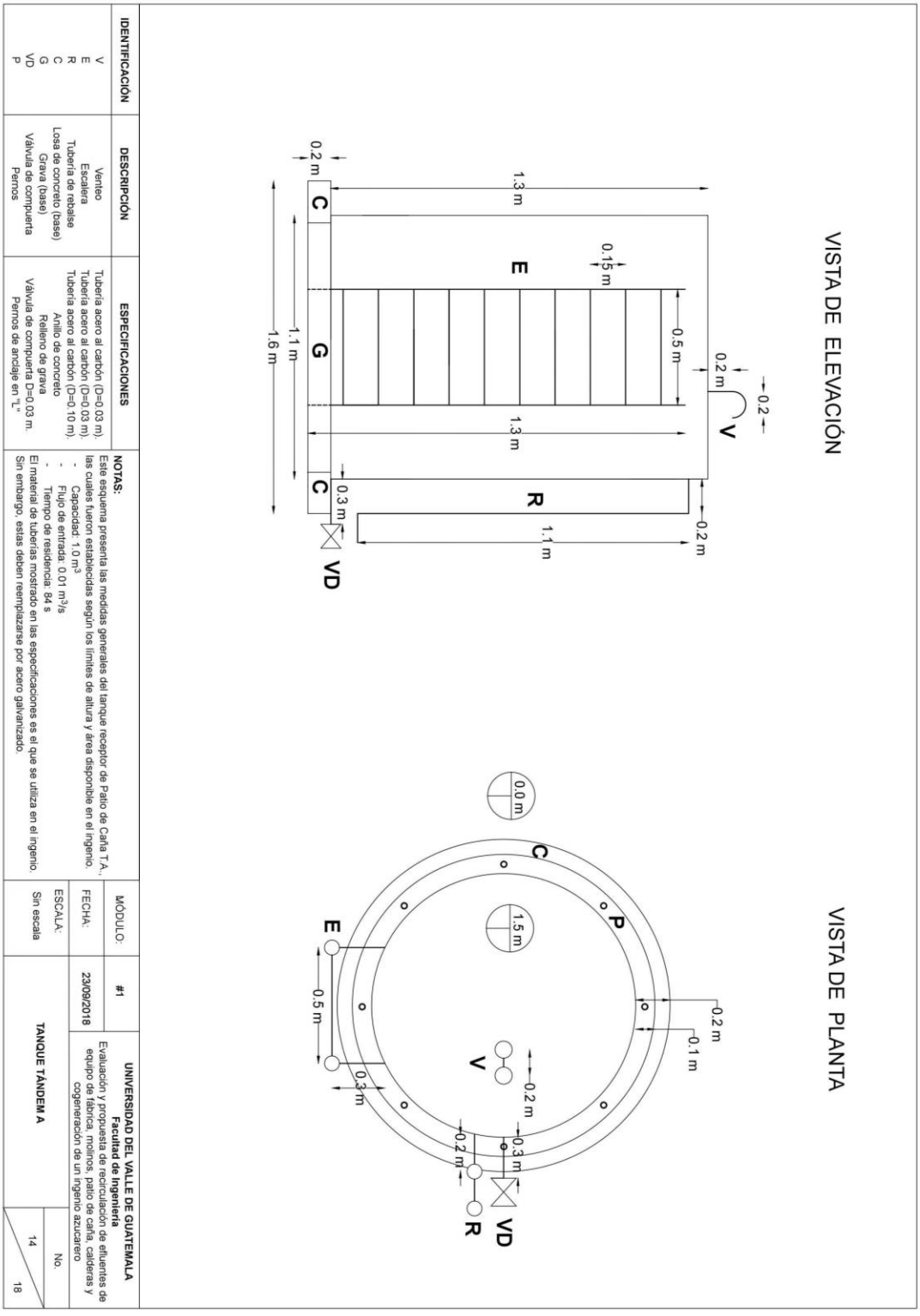


Figura 42. Esquema del tanque T.B. calculado según área disponible en ingenio

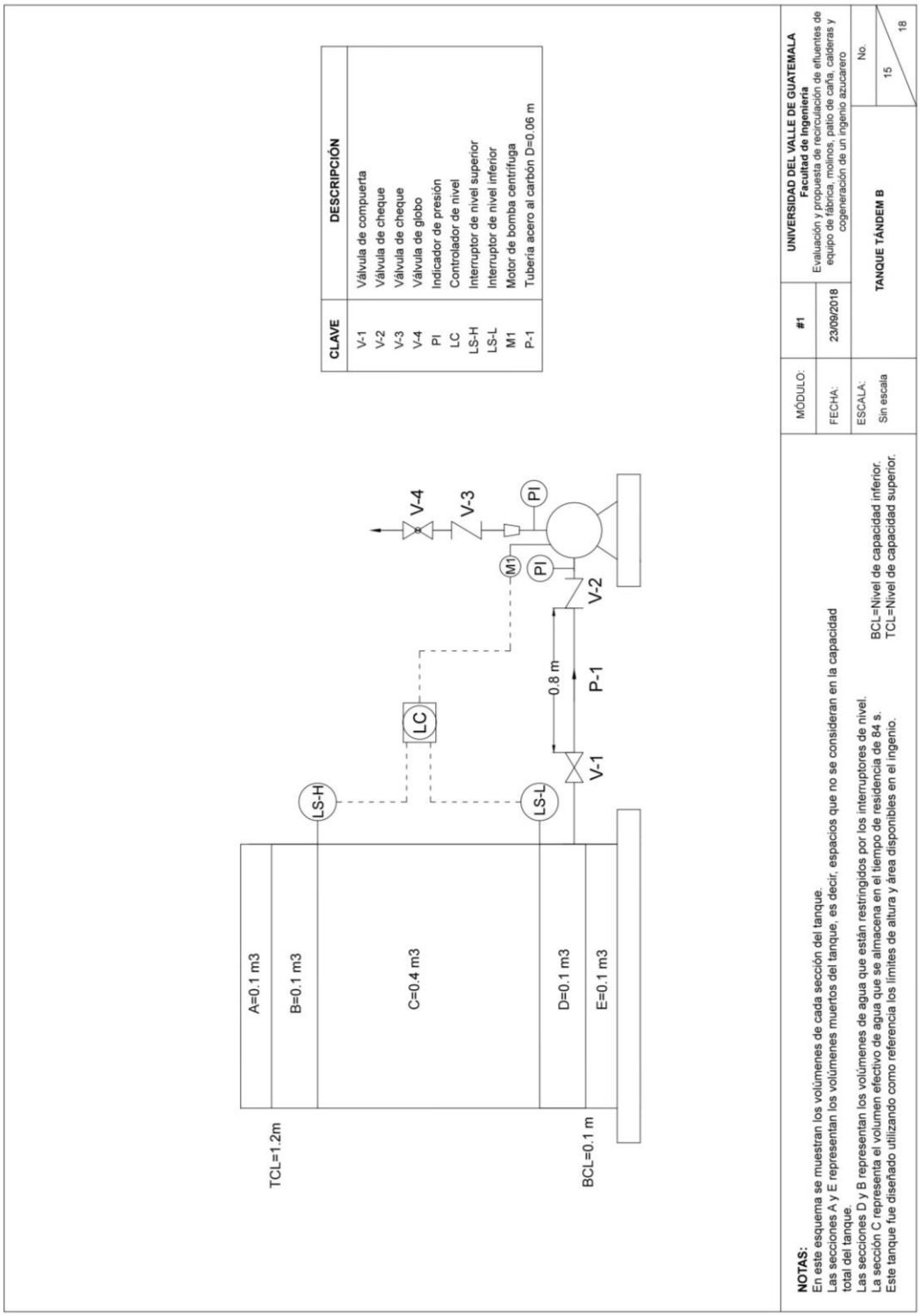
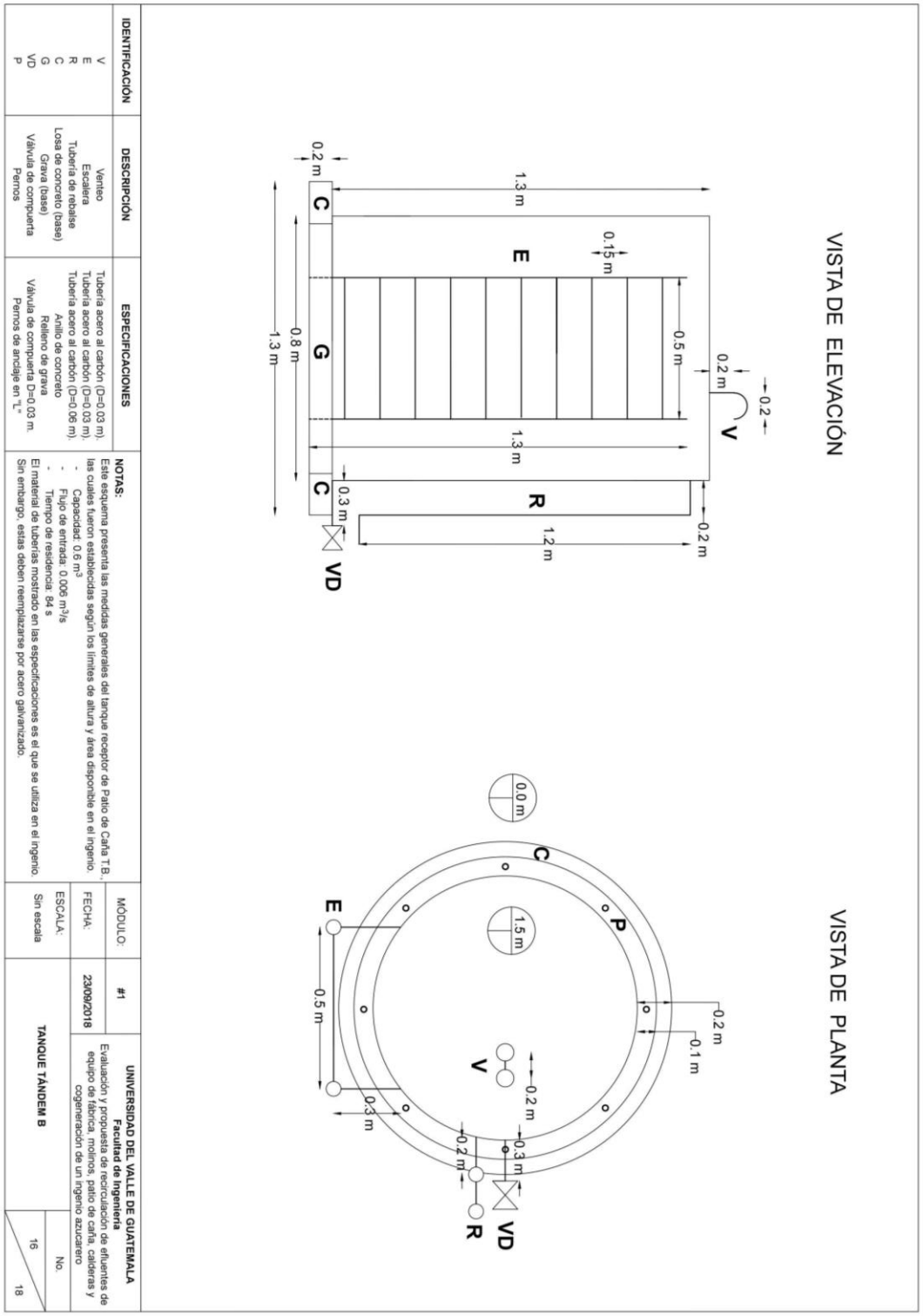


Figura 43. Medidas del tanque T.B. calculado según área disponible en ingenio



IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
V	Venteo	Tubería acero al carbón (D=0.03 m).
E	Escalera	Tubería acero al carbón (D=0.03 m).
R	Tubería de rebalse	Tubería acero al carbón (D=0.06 m).
C	Losa de concreto (base)	Anillo de concreto
G	Grava (base)	Relleno de grava
VD	Válvula de compuerta	Válvula de compuerta D=0.03 m.
P	Pernos	Pernos de anclaje en "L"

NOTAS:
Este esquema presenta las medidas generales del tanque receptor de Patio de Caña T.B., las cuales fueron establecidas según los límites de altura y área disponible en el ingenio.
- Capacidad: 0.6 m^3
- Flujo de entrada: 0.006 m^3/s
- Tiempo de residencia: 84 s

El material de tuberías mostrado en las especificaciones es el que se utiliza en el ingenio. Sin embargo, estas deben reemplazarse por acero galvanizado.

MÓDULO:

FECHA: 23/08/2018

ESCALA: Sin escala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de equipo de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

TANQUE TÁNDEM B

#1

No. 15 / 18

5. Costos de equipos, tuberías y accesorios de área de patio de caña

A continuación se presentan los datos obtenidos, a través de cotizaciones, para determinar la inversión inicial de equipos, tuberías y accesorios para el área de patio de caña.

Cuadro 42. Costos de equipos, tuberías y accesorios

Equipo	Costo
Tuberías	Q12,001.64
Válvulas y accesorios	Q31,503.34
Contracciones y expansiones	Q801.78
Tanques	Q15,787.91
Bombas	Q158,255.57
Total	Q218,350.24

Nota: Las especificaciones de cantidad y costo unitario de materiales, accesorios, instrumentos y equipos requeridos se muestran en el Cuadro 162 - Cuadro 166 (págs. 313 - 317)

C. Módulo 3: Área de fábrica

1. Propiedades físicas y químicas de los efluentes analizados

Cuadro 43. Rango propiedades químicas obtenidos para efluentes de fábrica

Efluente	Temperatura (℃)	Caudal (m^3/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (mg/L)	Grasas y aceites	Turbidez (FAU)	Concentración de azúcar (ppm)	Sólidos suspendidos (mg/L)
Cristalizadores masa tercera	34.4 – 38.4	2.39 – 3.67	7.6 – 8.2	169.5 – 229.8	80.2 – 106.8	124.6 – 127.1	Sin presencia	-	Sin presencia	25.5– 25.7
Bandejas cristalizadores	30.2 – 32.8	2.79 – 3.28	8.4 – 8.5	163.6 – 206.3	75.7 – 95.5	114.6 – 118.4	Sin presencia	-	Sin presencia	8.8– 8.9
Bombas de vacío	40.4 – 44.0	2.37– 3.84	8.3 – 8.5	210.7– 226.3	97.9 – 101.5	119.1– 146.9	Sin presencia	-	Sin presencia	23.9– 24.3
Limpieza transportadoras bandas de cachaza	29.6 – 32.6	7.50– 10.93	8.0– 8.1	277.7– 409.3	126.7– 190.3	122.9 – 417.0	Sin presencia	691	26-1196	15,196.8– 25,328.1
Centrífugas modelo G8	49.8 – 54.0	0.23– 0.49	8.7– 8.8	315.8–317.2	146	140.6 – 143.2	Sin presencia	-	Sin presencia	17.6– 17.8
Hidrolavadora	31.6 – 43.4	0.81– 4.57	8.7	312	144	151.7	Sin presencia	-	Sin presencia	13.4– 13.6
Bombas de transferencia, de vacío y de meladura	33.9 – 37.4	2.87– 4.58	6.8– 7.7	282.7–298.3	131.2– 136.8	118.1– 152.7	Sin presencia	-	Sin presencia	7.5– 7.6
Bombas de Refinería	32.7 – 36.3	0.17– 0.22	6.7– 7.1	173.2–263.5	80.6–120.8	108.0– 113.1	Sin presencia	-	5070 – 145,626	72.8– 74.9
Bombas de transferencia de evaporadores	32.8 – 34.9	0.05– 0.16	8.36	300.0	138.0	142.8	Sin presencia	-	Sin presencia	42.8– 44.6
Turbogenerador salida 1	21.0 – 22.0	3.35– 18.06	8.1	214.0	101.0	129.4	Sin presencia	-	Sin presencia	11.9– 12.1
Turbogenerador salida 2	21.6 – 22.1	9.85– 19.23	7.9	195.0	89.9	120.5	Sin presencia	-	Sin presencia	0.165– 0.168

[1]Las mediciones de caudal fueron tomadas en el mes de marzo de 2017 y las mediciones de propiedades químicas y físicas en el mes de marzo y abril de 2017.

[2]Para determinar el rango se utilizó la desviación estándar del valor promedio, ver Cuadro 192 al Cuadro 228

2. Parámetros de diseño de torre de enfriamiento

Cuadro 44. Características de diseño de la torre propuesta para circuito de recirculación

Característica de diseño	Selección	Proveedor[4]
Tipo de diseño	Tiro mecánico	Tiro mecánico
Configuración	Tiro inducido	Tiro inducido
Dirección de flujo	Flujo a contracorriente	Flujo a contracorriente
Sistema de distribución de flujo	Distribución a presión con aspersores	Distribuidores de polipropileno
Tipo de relleno	Relleno de película	Relleno de película
Material de relleno	Polipropileno	Polipropileno

[4] Nota: cuadro en donde se muestran las características encontradas según literatura y características dadas por proveedor que mejor se ajusten a los cálculos realizados. Las especificaciones de la torre de enfriamiento propuesta por Thermal Cooling Tower se encuentran de la página 658 a 662.

Cuadro 45. Condiciones de operación y diseño de torre propuesta

Parámetro de diseño	Valor propuesto	Proveedor
Flujo de circulación de agua [6]	172.59 m^3/h	172.59 m^3/h
Flujo de aire requerido [7]	161, 121.95 m^3/h	78, 460.31 m^3/h
Temperatura de entrada	37.52 ℃	37.52 ℃
Temperatura de agua de salida	31.00 ℃	31.00 ℃
Temperatura de bulbo húmedo[6]	25.65 ℃	25.65 ℃
Rango de enfriamiento	6.52 ℃	6.52 ℃
Temperatura de aproximación	5.35 ℃	5.35 ℃
Eficiencia térmica	54.9%	-
Capacidad	1,307.00 kW	1,409.67 kW
Altura de empaque	4.00 m	-
Altura de colector de agua	1.01 m	-
Altura de los aspersores al empaque	0.34 m	-
Altura total de la torre	5.41 m	2.00 m
Área	16.00 m^2	6.00 m^2
Número de boquillas de aspersión	20.00	-
Pérdidas por evaporación	0.5542%	0.91%
Pérdidas por arrastre y fugas	0.0200%	0.005%

[5] Los parámetros diseño fueron determinados para las siguientes condiciones meteorológicas del departamento de Escuintla en el período de zafra 2017-2018: presión atmosférica promedio 99, 527.57 Pa; altitud: 350 msnm; latitud: 14.34°; longitud: -90.79°

[6] Los parámetros de diseño se obtuvieron a partir de las condiciones máximas de operación (caudal máximo, humedad relativa máxima y temperatura de bulbo seco máxima). Los parámetros propuestos por el proveedor también toman en cuenta las condiciones de operación máximas. Para consultar las especificaciones de la torre de enfriamiento propuesta por Thermal cooling tower ver página 658 a 662.

[7] El flujo de aire requerido se determinó utilizando una relación liquido-gas de 1.11.

Cuadro 46. Especificaciones de equipos requeridos para la torre

Equipo	Valor propuesto	Proveedor [8]
Ventilador	Presión estática: 595.7 Pa	Presión estática: 87.34 Pa
	Potencia del motor: 9.00 kW	Potencia del motor: 7.45kW
Bomba centrífuga	Cabeza: 10.15 m	Cabeza: 10.15 m
	Caudal:139.03 m^3/h	Caudal:139.03 m^3/h
	Potencia del motor: 5.60 kW	Potencia del motor: 5.60 kW
	Potencia hidráulica: 4.42 kW	Potencia hidráulica: 4.42 kW
	NPSH disponible: 9.34 m	NPSH requerido: 1.95 m
	Material de bomba: Hierro	Material de bomba: Hierro

[8]Las especificaciones del ventilador fueron consultadas de la hoja técnica dada por Thermal cooling tower. El proveedor con el que se consultó la información de la bomba fue Goulds Pumps (para más información ver página 651 en anexos).

3. Inversión de equipos, instrumentos, accesorios y tuberías de fábrica

Cuadro 47. Inversión para el sistema de recirculación de los efluentes de fábrica

Rubro	Inversión [9]
Tuberías	Q14,617.14
Accesorios y Válvulas	Q50,105.70
Instrumentación y Control	Q 2,378.60
Bomba centrífuga principal y auxiliar [10]	Q99,163.41
TOTAL	Q166,264.85

[9] Del Cuadro 255 al

Cuadro 256 se encuentra la cantidad y el costo unitario de materiales, accesorios, instrumentos, y equipos requeridos para cada trayecto del sistema de recirculación.

[10] En el Cuadro 257, se encuentra el detalle del costo de la bomba.

4. Inversión de torre de enfriamiento

Cuadro 48. Inversión requerida para la torre del sistema de recirculación

Rubro	Inversión [11]
Torre de enfriamiento contraflujo tiro inducido	Q 572, 131.88
TOTAL	Q 572, 131.88

[10] La inversión toma en cuenta planos generales de la torre, materiales necesarios para montaje, eliminadores, hardware, equipo mecánico completo, chimenea de fibra de vidrio, cabezal, estructura de fibra de vidrio, supervisión de montaje y puesta en marcha, manuales de operación y mantenimiento, bomba de alimentación, sensores de temperatura del agua y sensor de humedad del aire. Para ver el detalle puede consultarse el Cuadro 258.

5. Propuesta del sistema de recirculación de fábrica

Cuadro 49. Clave de variables utilizadas para interpretación en los esquemas

Clave	Descripción
B-001	Bomba centrífuga principal
B-002	Bomba centrífuga de Backup
B-003	Bomba centrífuga principal
B-004	Bomba centrífuga de Backup
B-005	Bomba de vacío filtros rotativos
V-001	Válvula de cheque entrada bomba 1
V-002	Válvula de cheque salida bomba 1
V-003	Válvula de cheque entrada bomba 2
V-004	Válvula de cheque salida bomba 2
V-005	Válvula de cheque entrada bomba 3
V-006	Válvula de cheque salida bomba 3
V-007	Válvula de cheque entrada bomba 4
V-008	Válvula de cheque salida bomba 4
V-009	Válvula de bola entrada bomba 1
V-010	Válvula de bola entrada bomba 2
V-011	Válvula de bola entrada bomba 3
V-012	Válvula de bola entrada bomba 4
V-013	Válvula de globo salida bomba 1
V-014	Válvula de globo salida bomba 2
V-015	Válvula de globo salida bomba 3
V-016	Válvula de globo salida bomba 4

Cuadro 50. Clave de variables utilizadas para identificación en los esquemas

Clave	Descripción
CT-001	Torre de enfriamiento tiro inducido
TK-001	Tanque fabrica
TK-002	Tanque receptor en patio de caña
P-001	Agua de salida de cristalizadores, tubería acero al carbón 0.0254 m cédula 40, L = 11.1 m
P-002	Agua de salida de bombas de vacío filtros rotativos, tubería acero al carbón 0.0381 m cédula 40 L = 32.5 m
P-003	Agua de salida centrífugas, tubería acero al carbón 0.0095 m cédula 40, L=18.43 m
P-004	Agua de salida hidrolavadora, tubería acero al carbón 0.0254 m cédula 40, L=43 m
P-005	Agua de tanque de fábrica hacia tanque general, tubería acero al carbón 0.0508 m cédula 40, L = 103.7 m
P-006	Agua de tanque general hacia los aspersores de la torre, tubería acero al carbón 0.01524 m cédula 40 L = 29.5 m
P-007	Agua de salida de la torre
PI-001	Indicador de presión succión de la bomba 1
PI-002	Indicador de presión descarga de la bomba 1
PI-003	Indicador de presión succión de la bomba 2
PI-004	Indicador de presión descarga de la bomba 2
PI-005	Indicador de presión succión de la bomba 3
PI-006	Indicador de presión descarga de la bomba 3
PI-007	Indicador de presión descarga de la bomba 3
PI-008	Indicador de presión succión de la bomba 4
PI-009	Indicador de presión descarga de la bomba 4
PI-010	Indicador de presión descarga de la bomba 4
TT-001	Transmisor de temperatura entrada de la torre
TI-001	Indicador de temperatura agua de entrada a la torre
TT-002	Transmisor de temperatura salida de la torre
TI-002	Indicador de temperatura agua de salida de la torre
NT-001	Transmisor de humedad aire de salida de la torre
NI-001	Indicador de humedad aire de salida de la torre
LSH-001	Sensor de nivel superior
LSL-002	Sensor de nivel inferior
M-001	Motor de bomba centrifuga 1 para control de nivel
M-002	Motor de bomba centrifuga 2 para control de nivel

Figura 44. Esquema P&ID vista de planta completa

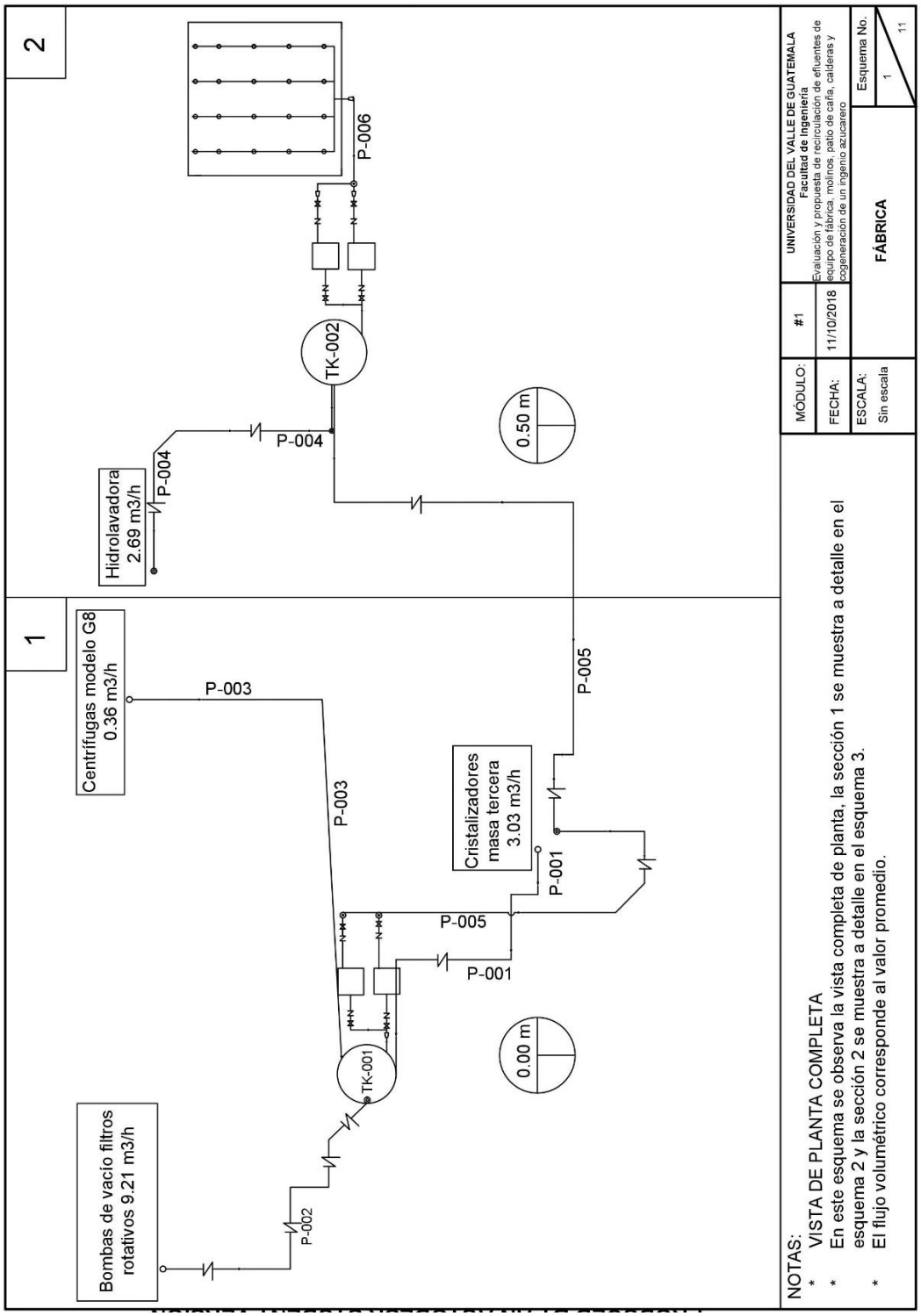


Figura 45. Esquema P&ID vista de elevación completa

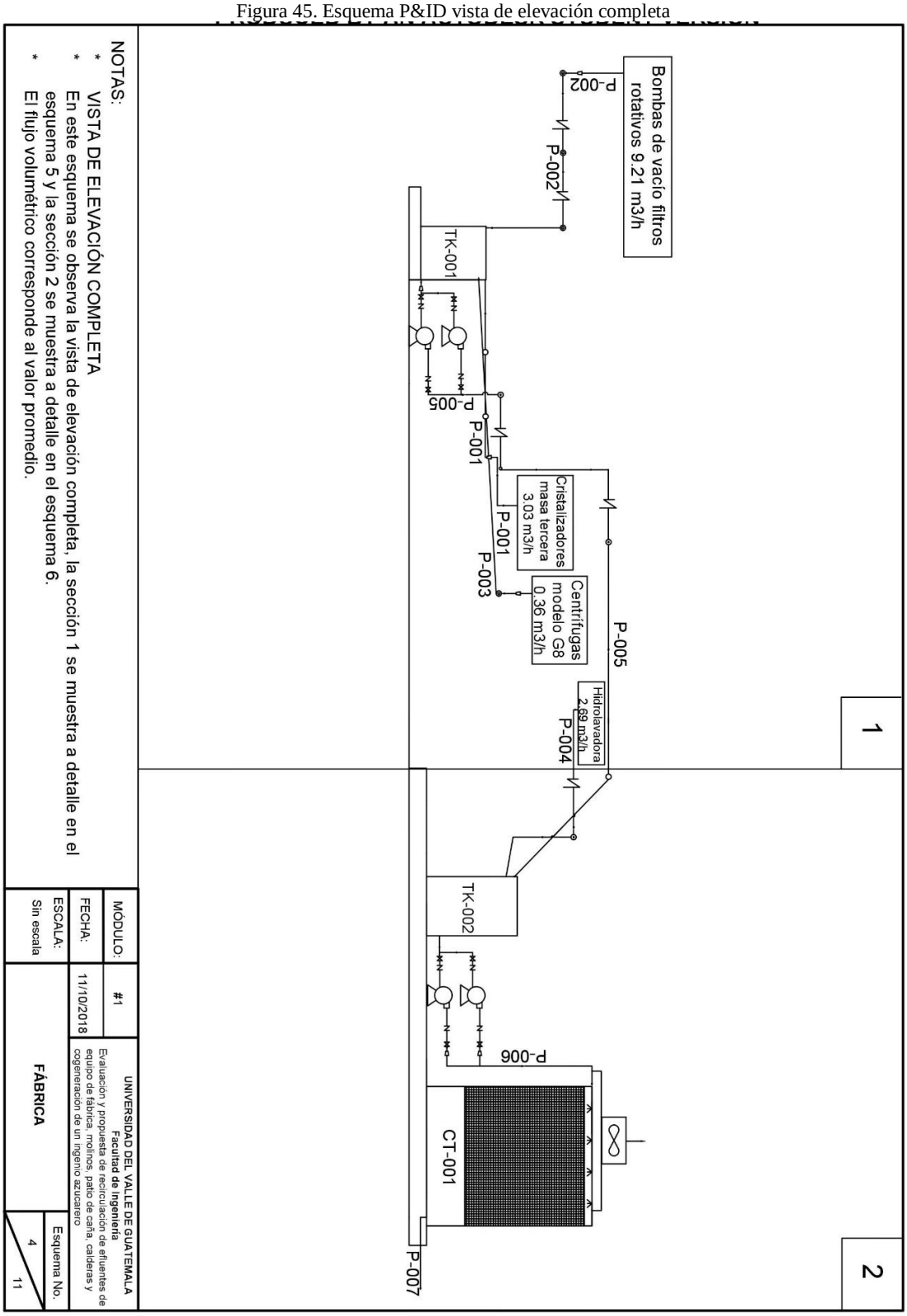


Figura 46. Esquema P&ID vista de planta sección 1

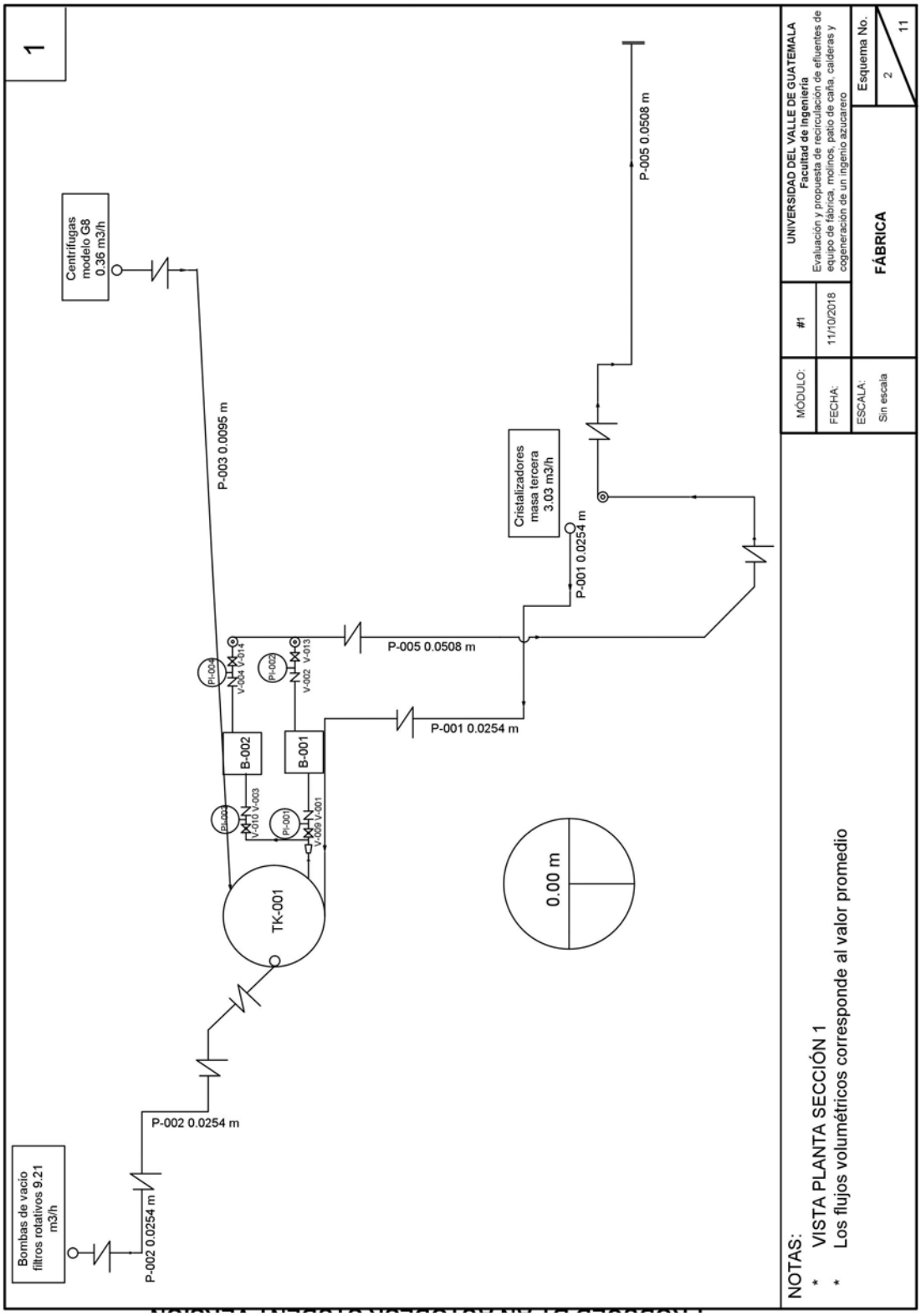


Figura 47. Esquema P&ID vista de planta sección 2

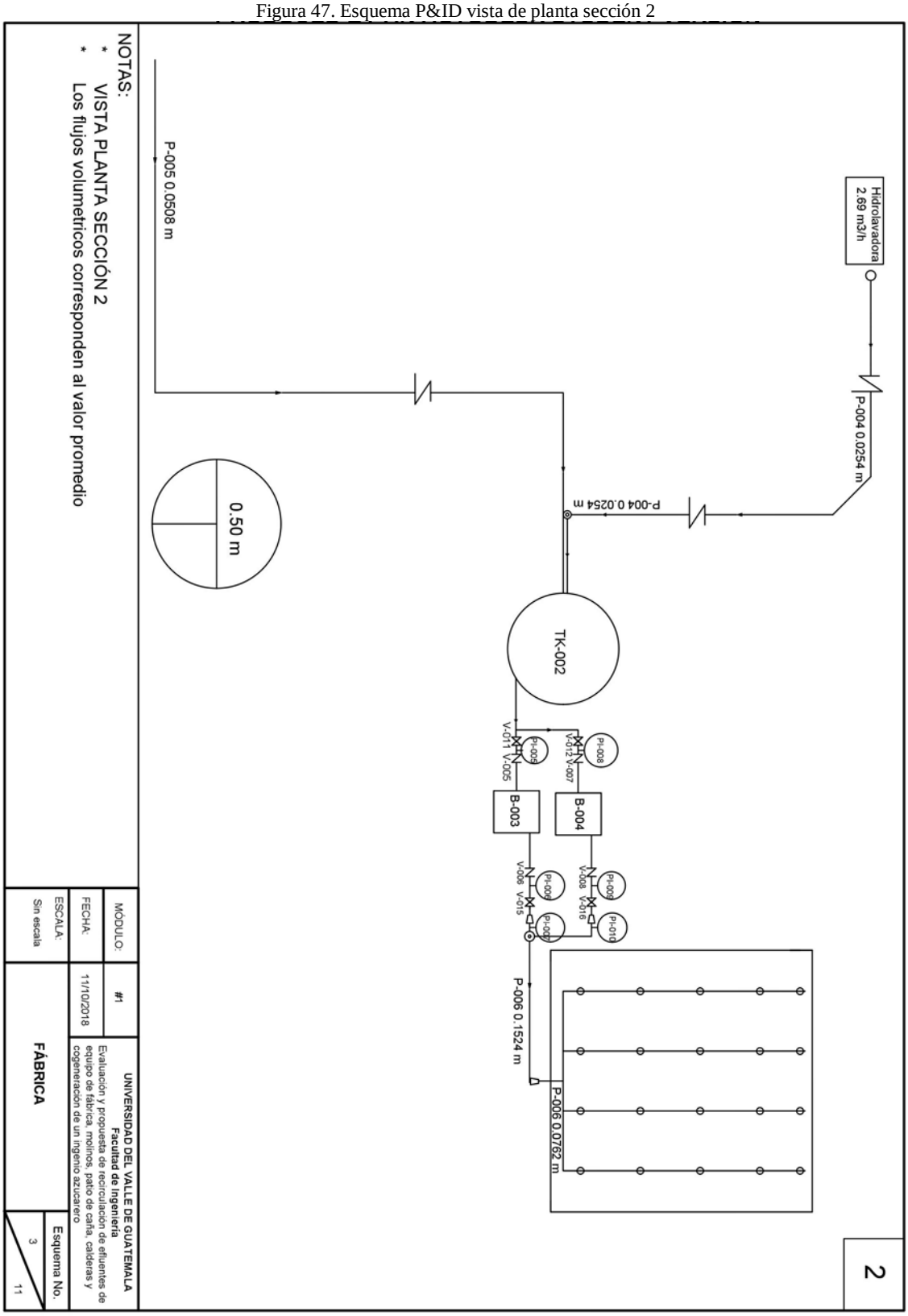


Figura 48. Esquema P&ID vista de elevación sección 1

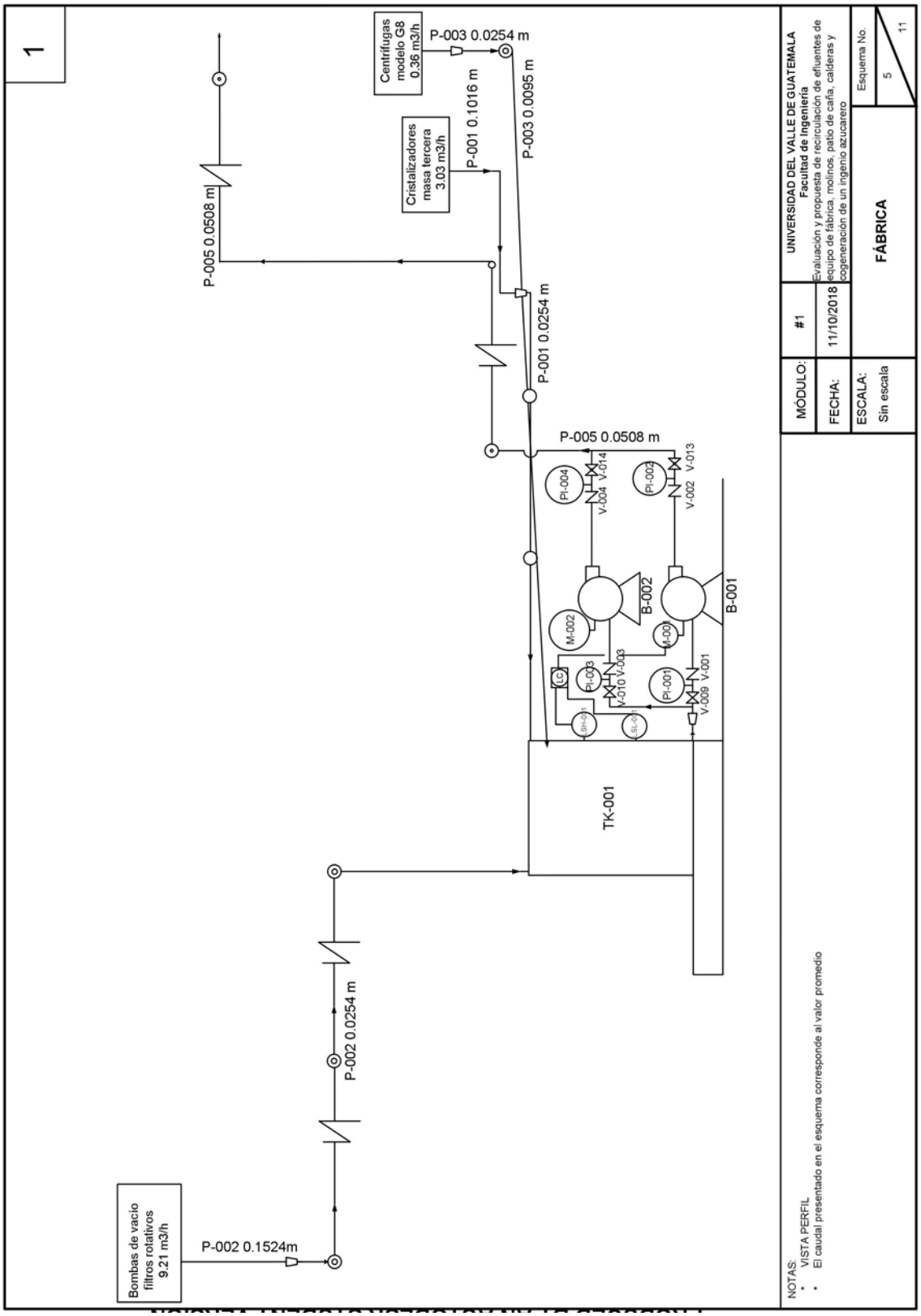


Figura 49. Esquema P&ID vista de elevación sección 2

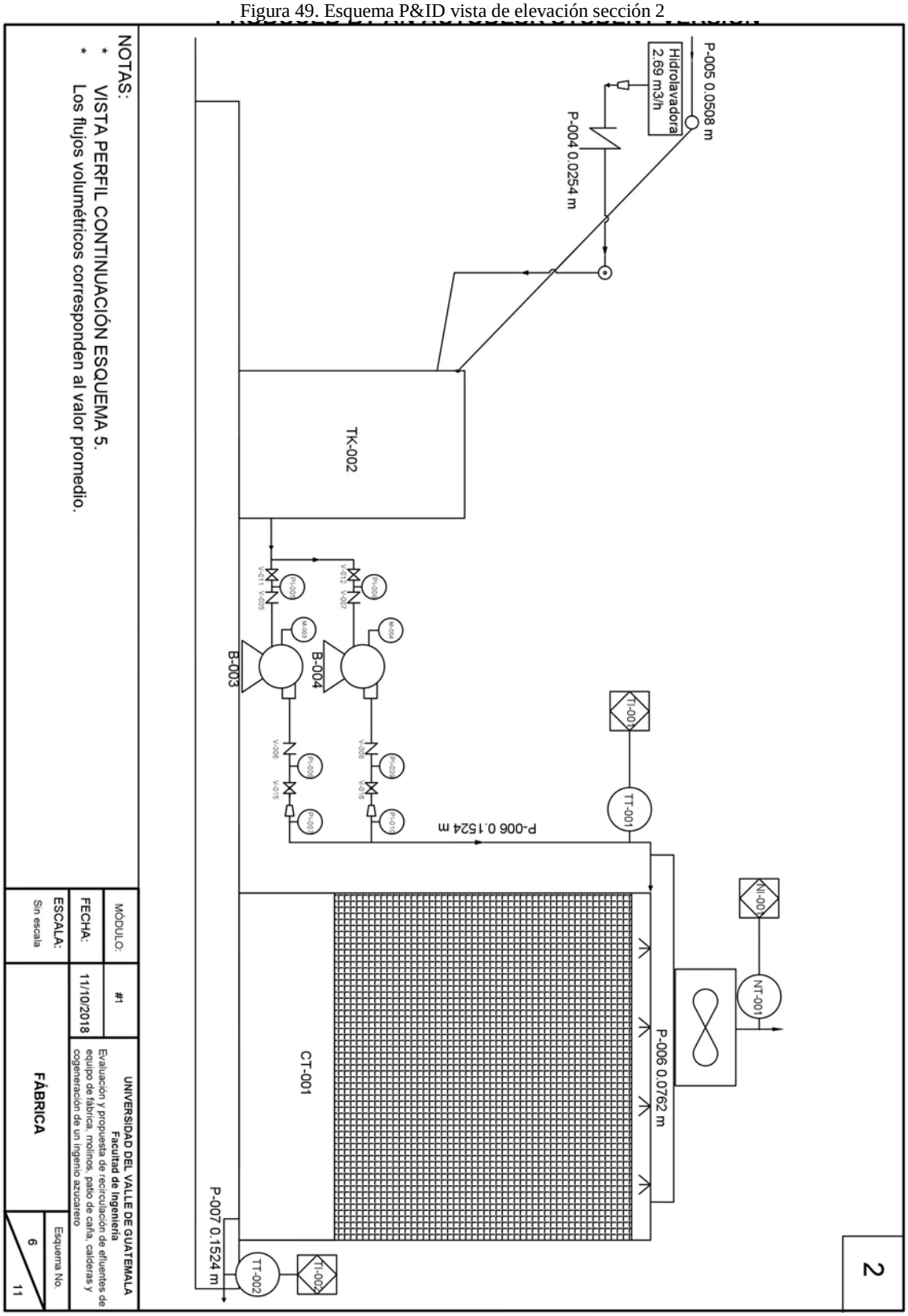


Figura 50. Esquema vista de planta sección 1

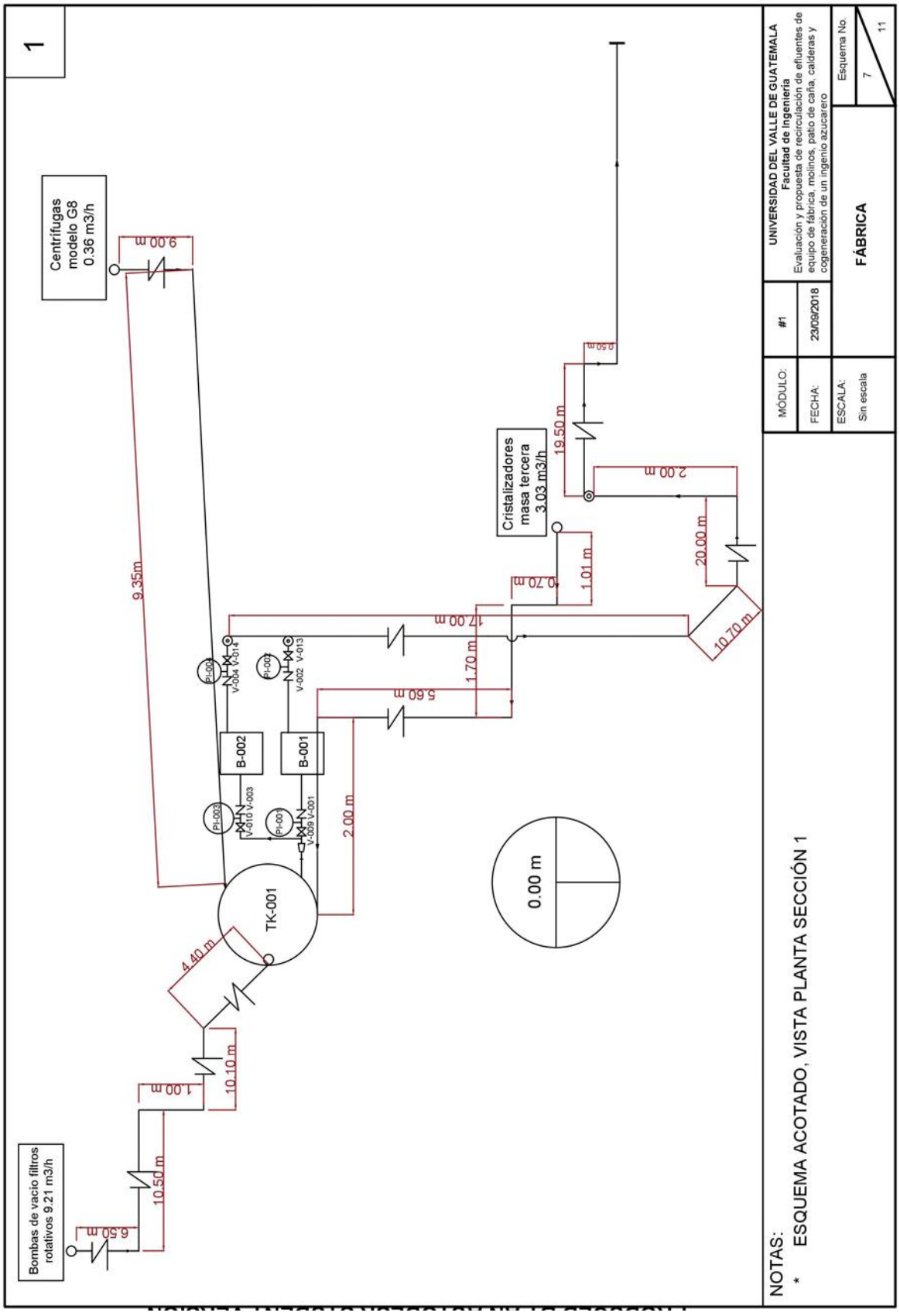


Figura 51. Esquema vista de planta sección 2

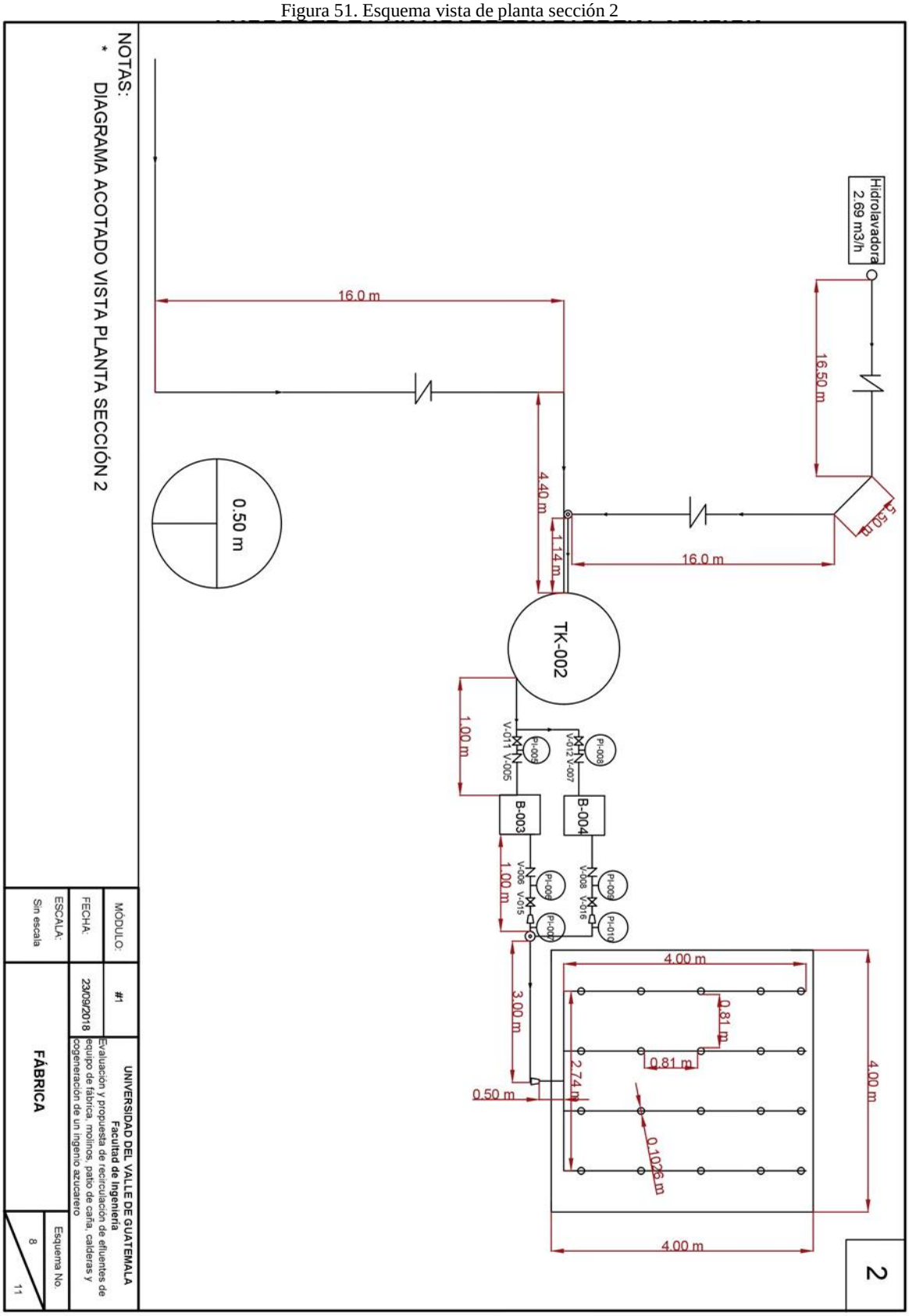


Figura 52. Esquema vista elevación sección 1

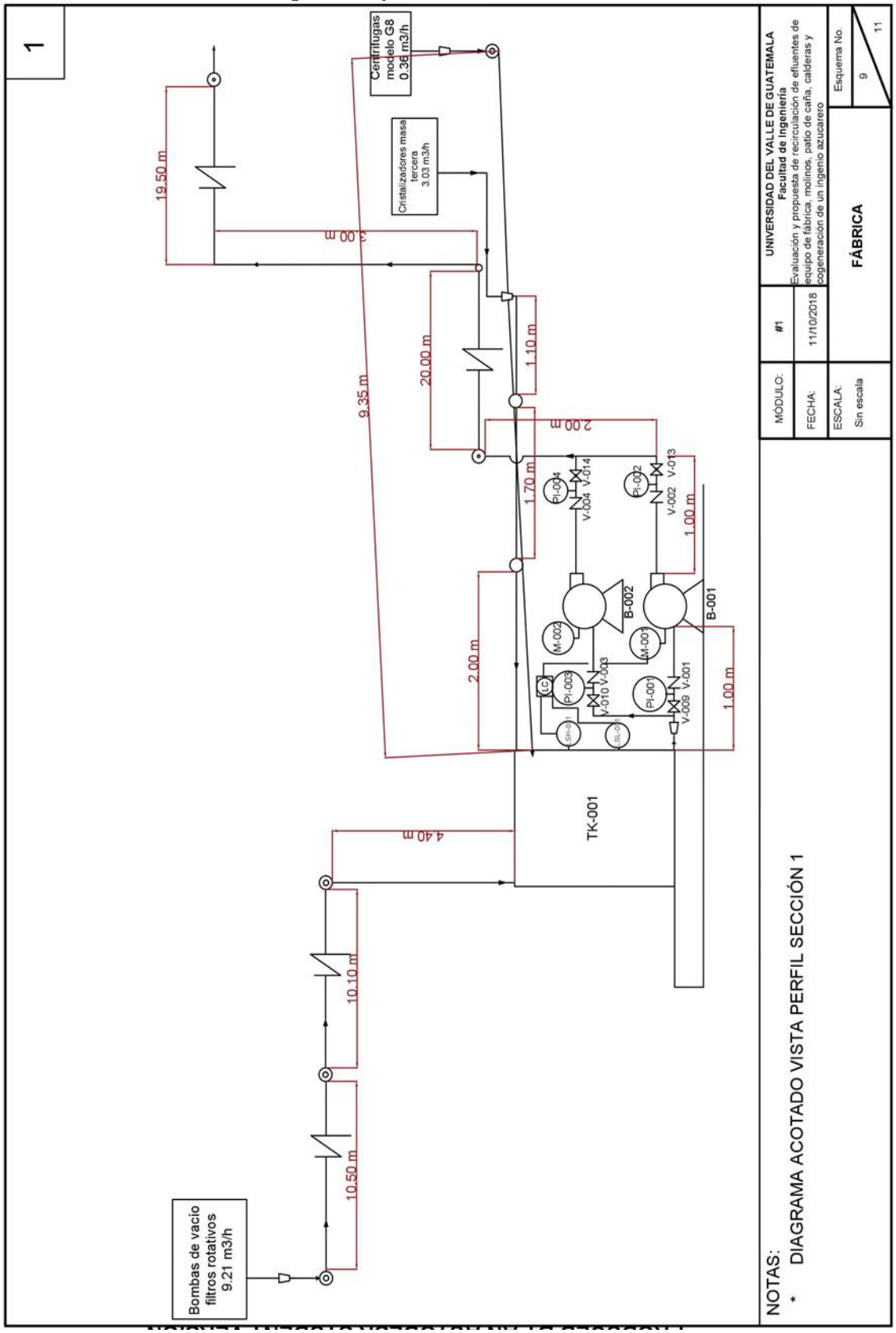


Figura 53. Esquema vista elevación sección 2

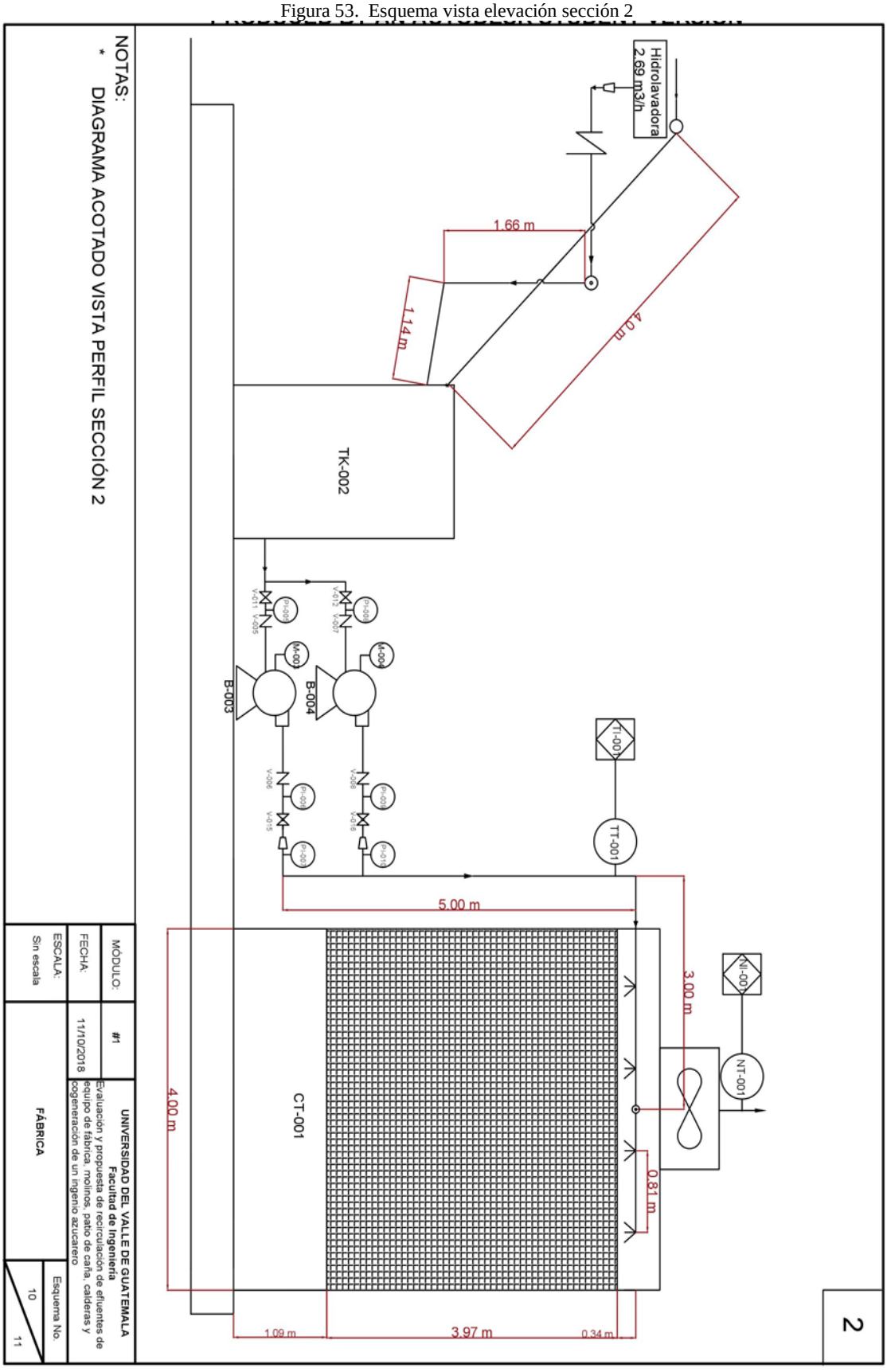
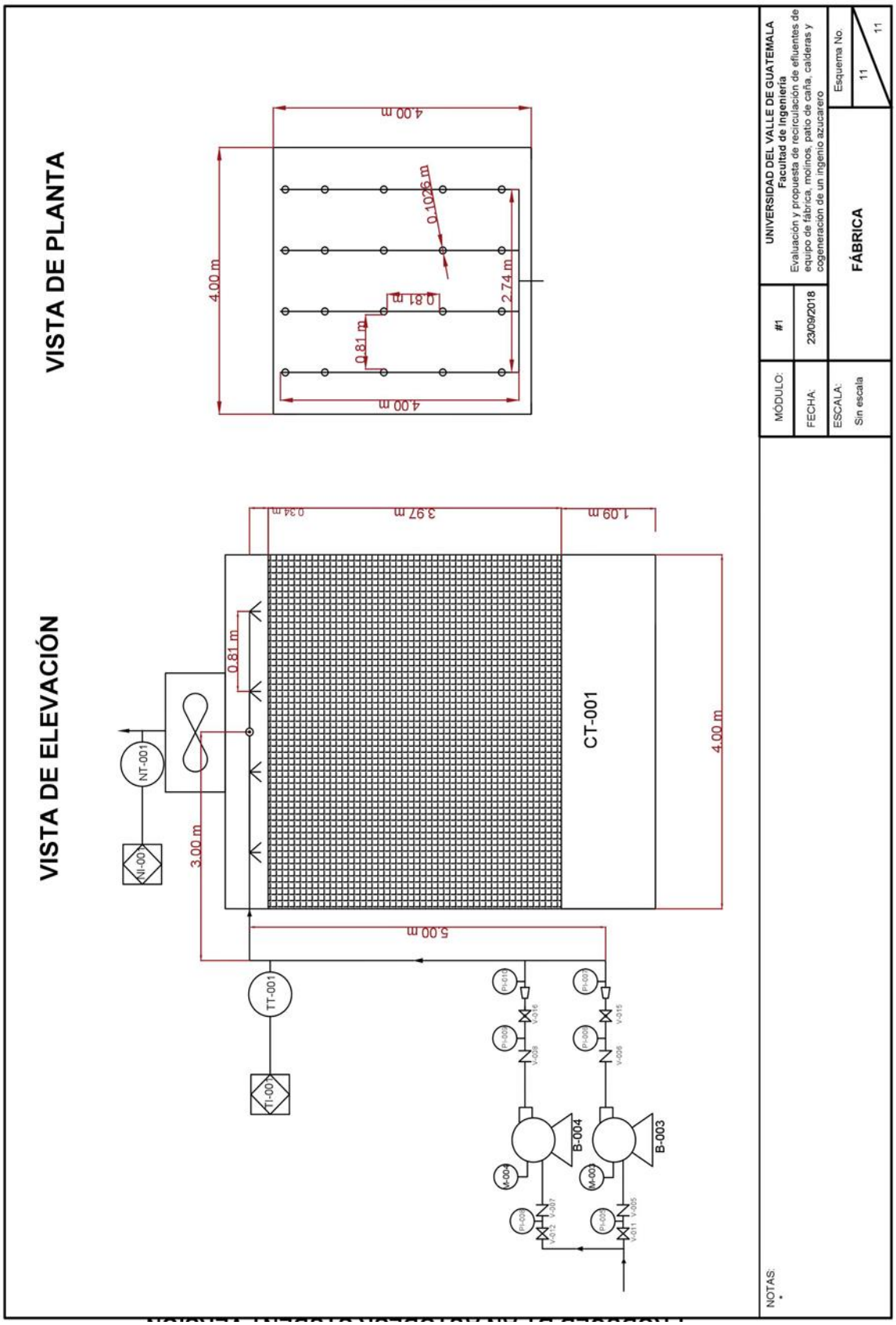


Figura 54. Esquema de torre de enfriamiento



D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración

1. Análisis fisicoquímicos de los efluentes de agua de enfriamiento

Cuadro 51. Valores obtenidos de caudal para los grupos de equipos analizados en ingenio

Grupo de equipos	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Bombas calderas 5 y 6	0.002792 ± 0.000035	0.004044 ± 0.000076	0.003309 ± 0.000337
Bombas calderas 1 y 2	0.001785 ± 0.000092	0.003413 ± 0.000078	0.002512 ± 0.000753
Bombas calderas 4 y 7	0.005072 ± 0.000084	0.006374 ± 0.000114	0.005854 ± 0.000503
Tomamuestras de calderas y de aireador	0.002378 ± 0.000035	0.004113 ± 0.000054	0.003276 ± 0.000404
Bombas hidráulicas	0.001100 ± 0.000030	0.002640 ± 0.000052	0.001678 ± 0.000524
Ventilador inducido caldera 1	0.001593 ± 0.000044	0.001807 ± 0.000055	0.001717 ± 0.000111
Ventiladores inducidos caldera 5	0.003201 ± 0.000083	0.003729 ± 0.000077	0.003448 ± 0.000150
Purgas de torres de enfriamiento	0.000452 ± 0.000024	0.010204 ± 0.010561	0.005985 ± 0.002053
Planta desmineralizadora	0.000330 ± 0.000006	0.000437 ± 0.000004	0.000367 ± 0.000048
Turbogeneradores TRONA y condensing	0.001410 ± 0.000011	0.001859 ± 0.000066	0.001639 ± 0.000122
Total	0.020114 ± 0.000169	0.038620 ± 0.010563	0.029785 ± 0.002375
Total, sin torres de enfriamiento	0.019662 ± 0.000167	0.028415 ± 0.000209	0.023800 ± 0.001193

Observaciones:

[1] Estos caudales son los determinados para las condiciones de los equipos durante la zafra 2017-2018 (sin implementar la propuesta de enfriamiento en serie).

Cuadro 52. Parámetros fisicoquímicos analizados según su fuente de agua

Parámetros fisicoquímicos mínimos y máximos obtenidos para los equipos analizados según su fuente de agua en el ingenio y para el período de zafra 2017-2018

	|Fuente de agua			
	Tanque elevado auxiliar		Torre de enfriamiento del bloque 1	
Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura, °C	24.0 ± 0.5	38.0 ± 2.0	27.0 ± 0.5	43.0 ± 0.5
pH	7.46 ± 0.01	8.52 ± 0.01	8.80 ± 0.01	8.93 ± 0.01
Dureza, ppm $CaCO_3$	105.315 ± 0.001	185.64 ± 0.001	324.87 ± 0.001	468.56 ± 0.001
Conductividad, µS/cm	219 ± 1	396 ± 1	660 ± 1	820 ± 1
Salinidad, ppm	100 ± 1	188 ± 1	318 ± 1	389 ± 1
Densidad, kg/m^3	995.3760 ± 4.7778	997.6880 ± 4.7889	996.8120 ± 4.7847	998.0680 ± 4.7907
Sólidos suspendidos, kg/m^3	0.0013 ± 0.0001	0.0122 ± 0.0017	0.0140 ± 0.0009	0.0323 ± 0.0005
Viscosidad, cSt	1.037 ± 0.003	1.084 ± 0.002	1.023 ± 0.006	1.078 ± 0.004
Grasas y aceites	No observado	No observado	No observado	No observado

Observaciones:

[1] Se observa que los valores para los equipos que tienen como fuente de agua la torre de enfriamiento del bloque 1 son mayores que para los que usan el agua del tanque elevado auxiliar; esto debido a las condiciones de operación de la torre en cuestión.

[2] Las condiciones fisicoquímicas de los efluentes de los equipos que tienen como fuente de agua la torre de enfriamiento del bloque 1 no cumplen con el intervalo admisible por la dicha torre (compárese con el Cuadro 22 en la sección de antecedentes).

Cuadro 53. Parámetros fisicoquímicos obtenidos para las torres del bloque 1 y 2

Parámetro	Torre de enfriamiento bloque 1		Torre de enfriamiento bloque 2	
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura, °C	31.0 ± 0.5	38.0 ± 0.5	34.0 ± 0.5	36.0 ± 0.5
pH	8.78 ± 0.01	8.91 ± 0.01	8.88 ± 0.01	9.18 ± 0.01
Dureza, ppm $CaCO_3$	335.58 ± 0.001	419.47 ± 0.001	257.04 ± 0.001	293.63 ± 0.001
Conductividad, µS/cm	673 ± 1	804 ± 1	555 ± 1	656 ± 1
Salinidad, ppm	326 ± 1	376 ± 1	260 ± 1	317 ± 1
Densidad, kg/m^3	995.5840 ± 4.7788	995.5840 ± 4.7788	997.4880 ± 4.7879	997.4880 ± 4.7879
Sólidos suspendidos, kg/m^3	0.0193 ± 0.0001	0.0193 ± 0.0001	0.0535 ± 0.0006	0.0535 ± 0.0006
Viscosidad, cSt	1.035 ± 0.009	1.035 ± 0.009	1.051 ± 0.005	1.051 ± 0.005
Grasas y aceites	No observado	No observado	No observado	No observado

Observaciones:

[1] Se denota las condiciones del agua de purgado de las torres.

[2] Las condiciones del purgado de la torre de enfriamiento del bloque 1 corroboran los resultados obtenidos para los equipos que usan esta fuente de agua.

2. Propuesta de recirculación de efluentes.

A continuación, se presentan los esquemas del circuito de recirculación propuesto, tanto para la captación y distribución de efluentes hacia el tanque recolector, como para el sistema de bombeo hacia la tubería de agua caliente que retorna a la torre de enfriamiento del bloque 1. Se incluye un diagrama de instrumentación y proceso (P&ID) y un esquema para las dimensiones del tanque receptor de efluentes.

Figura 55. Propuesta de recirculación de efluentes de agua de enfriamiento y purgado

Esquema de propuesta de circuito de recirculación de efluentes de agua de enfriamiento y purgado hacia el tanque recolector bajo la propuesta de enfriamiento en serie.

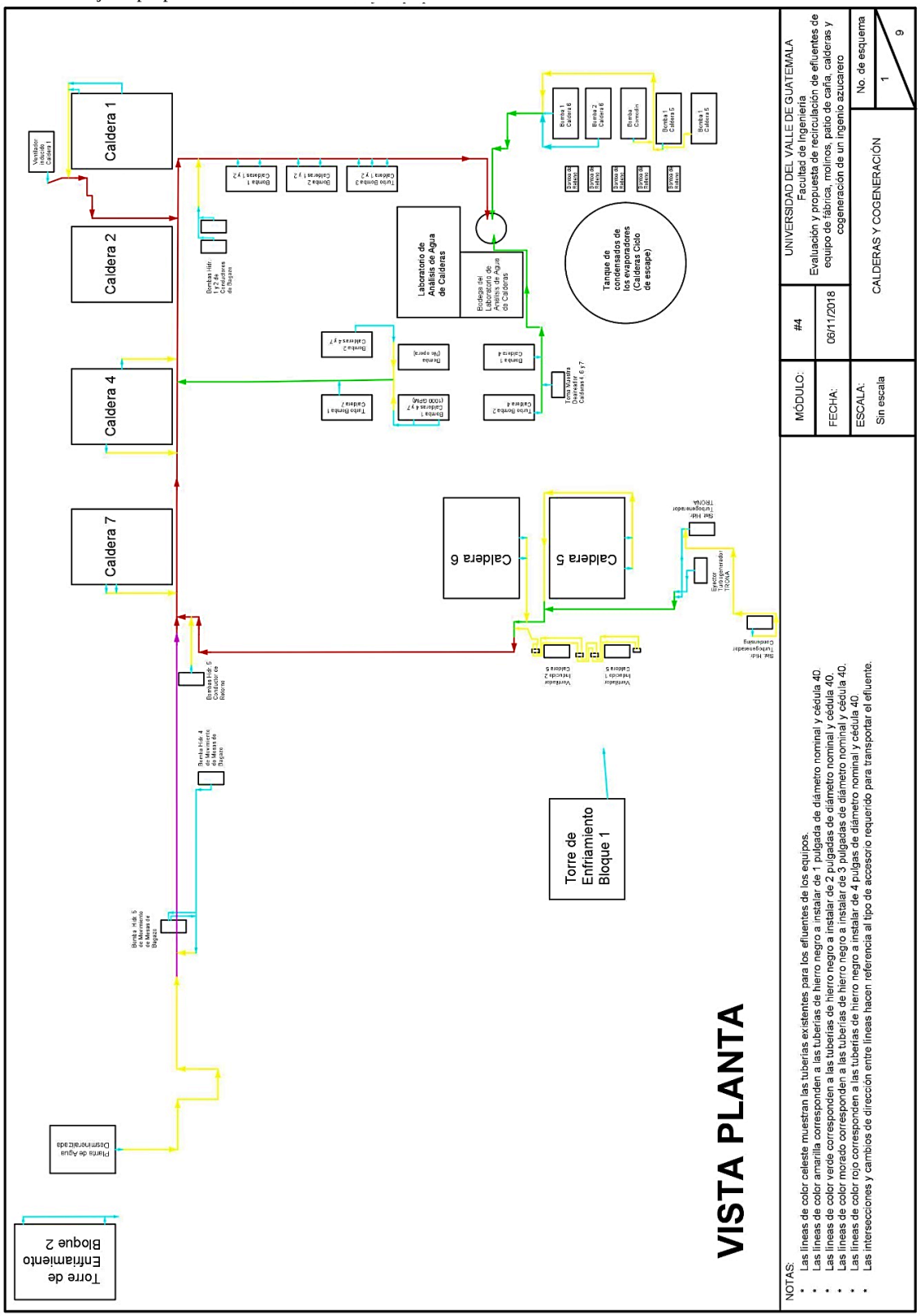


Figura 56. Propuesta de recirculación de efluentes al tanque recolector.

Esquema de propuesta de circuito de recirculación de efluentes de agua de enfriamiento y purgado hacia el tanque recolector bajo la propuesta de enfriamiento en serie.

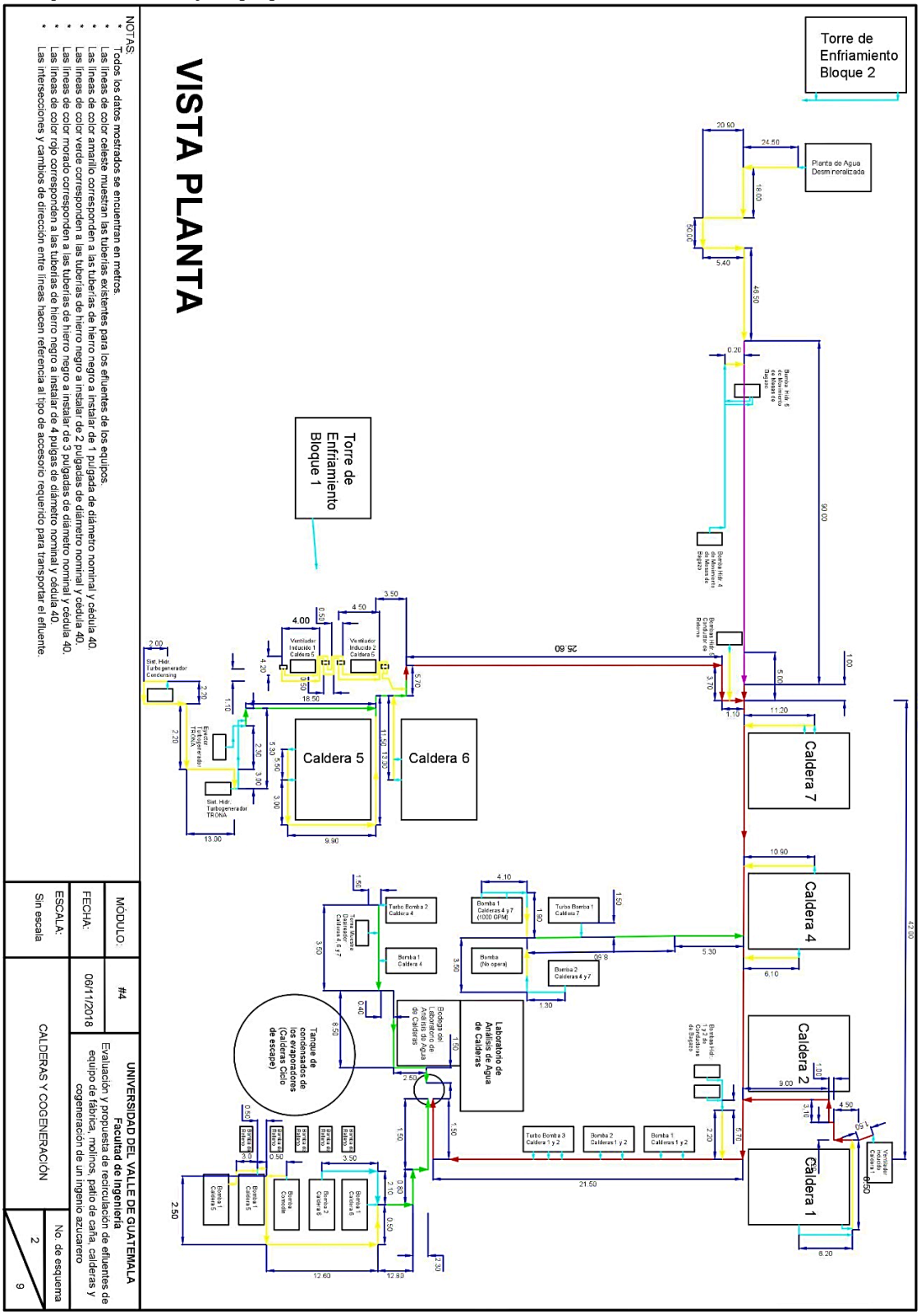


Figura 57. Distribución de descarga de bomba a tubería de agua caliente que retorna a torre

Esquema de distribución de la línea de descarga de la bomba hacia la tubería de agua caliente que retorna a la torre de enfriamiento del bloque 1.

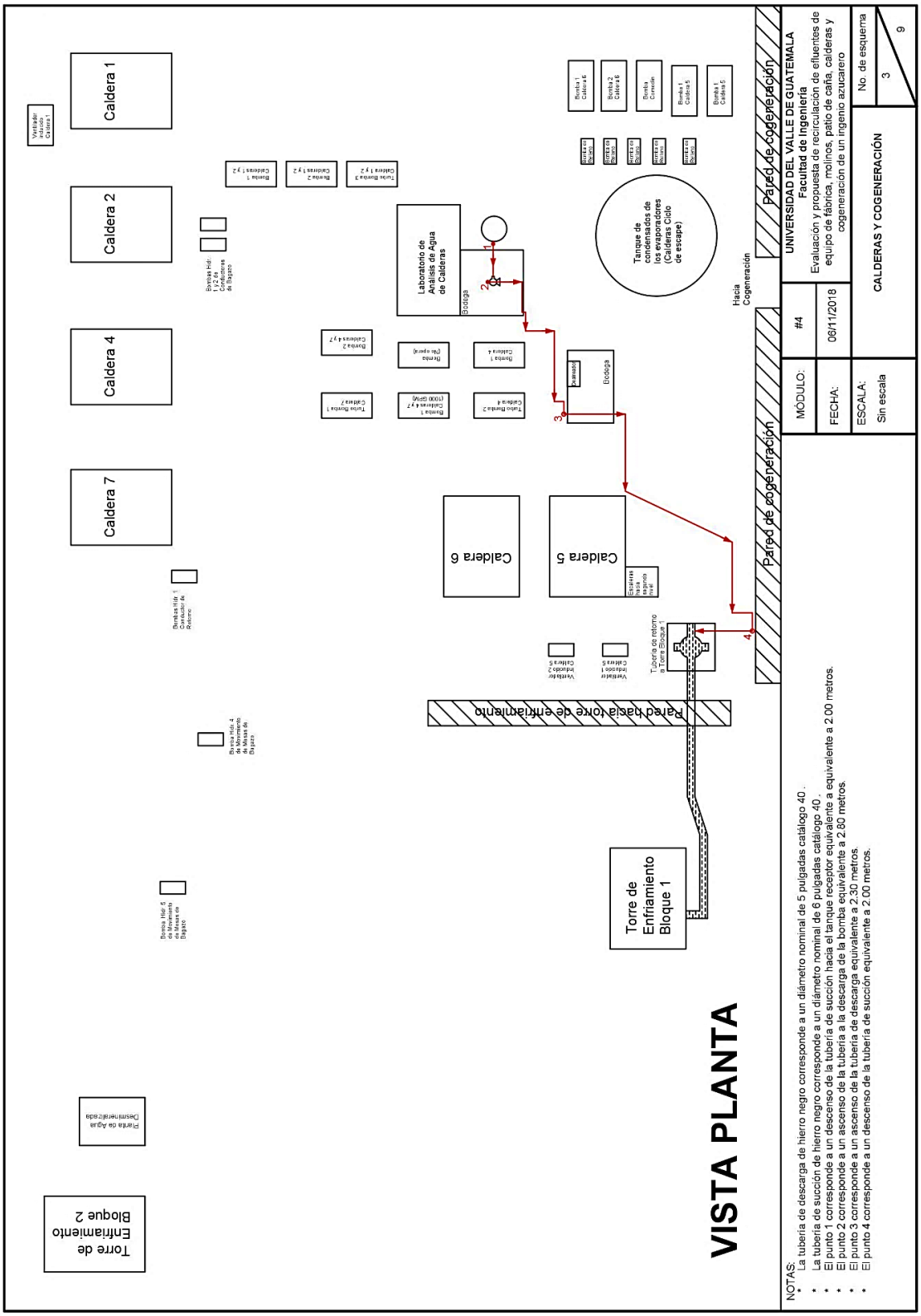


Figura 58. Distribución de descarga de bomba a tubería de agua caliente que retorna a torre

Esquema de distribución de la línea de descarga de la bomba hacia la tubería de agua caliente que retorna a la torre de enfriamiento del bloque 1

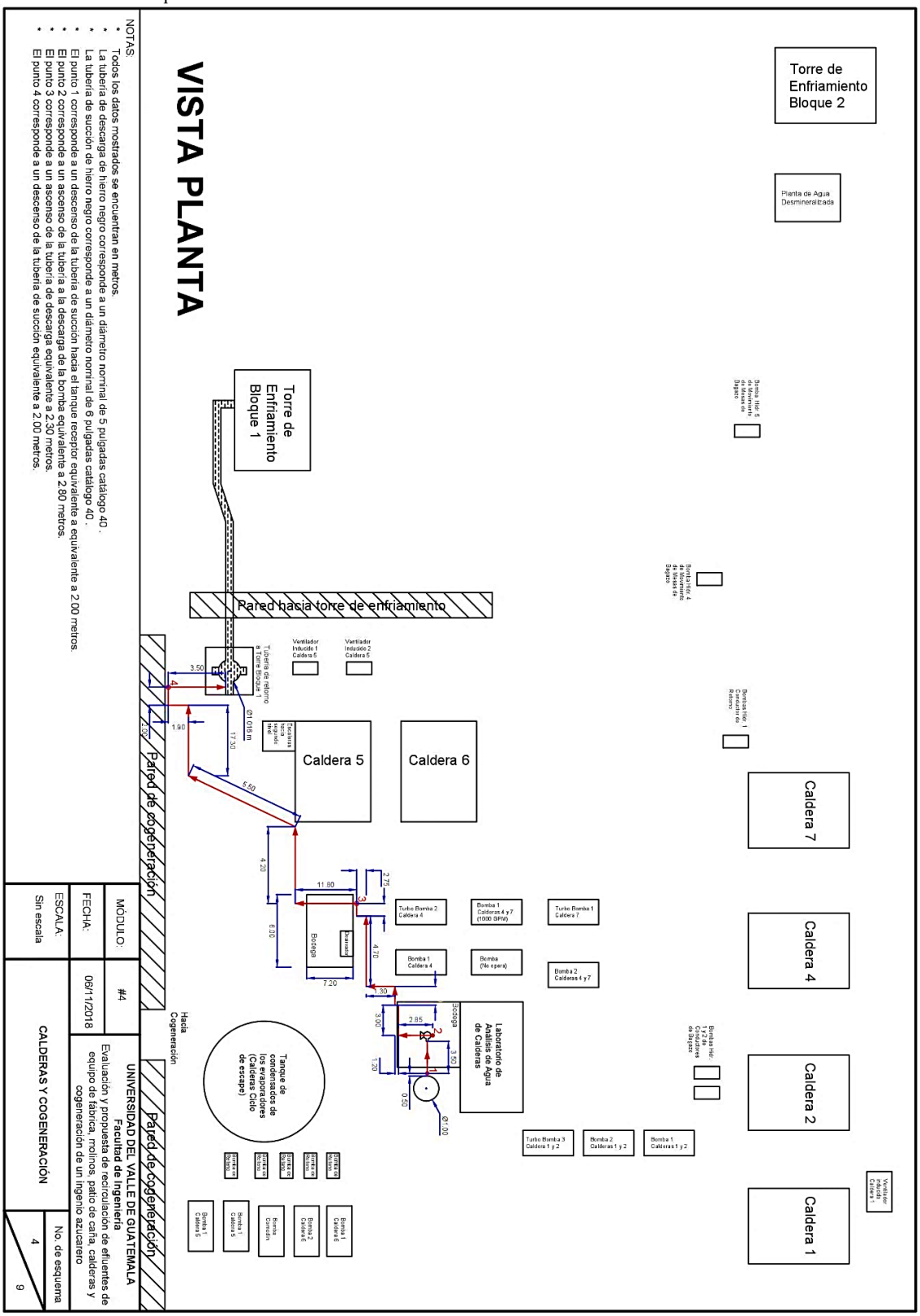


Figura 59. Dimensiones del tanque recolector para efluentes de calderas y cogeneración

Esquema de dimensiones del tanque recolector propuesto para los efluentes del área de calderas y cogeneración durante el período de zafra 2017-2018.

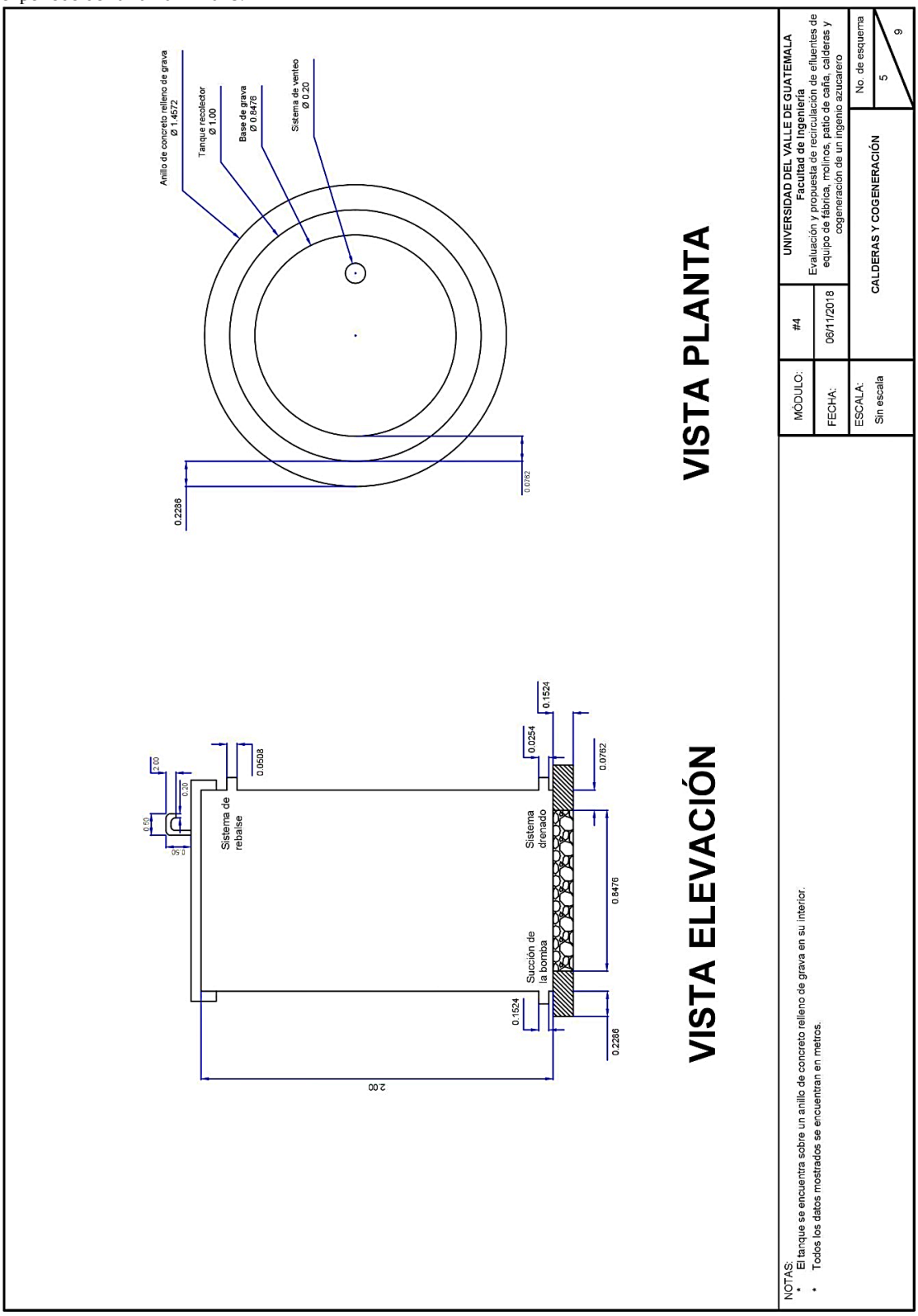
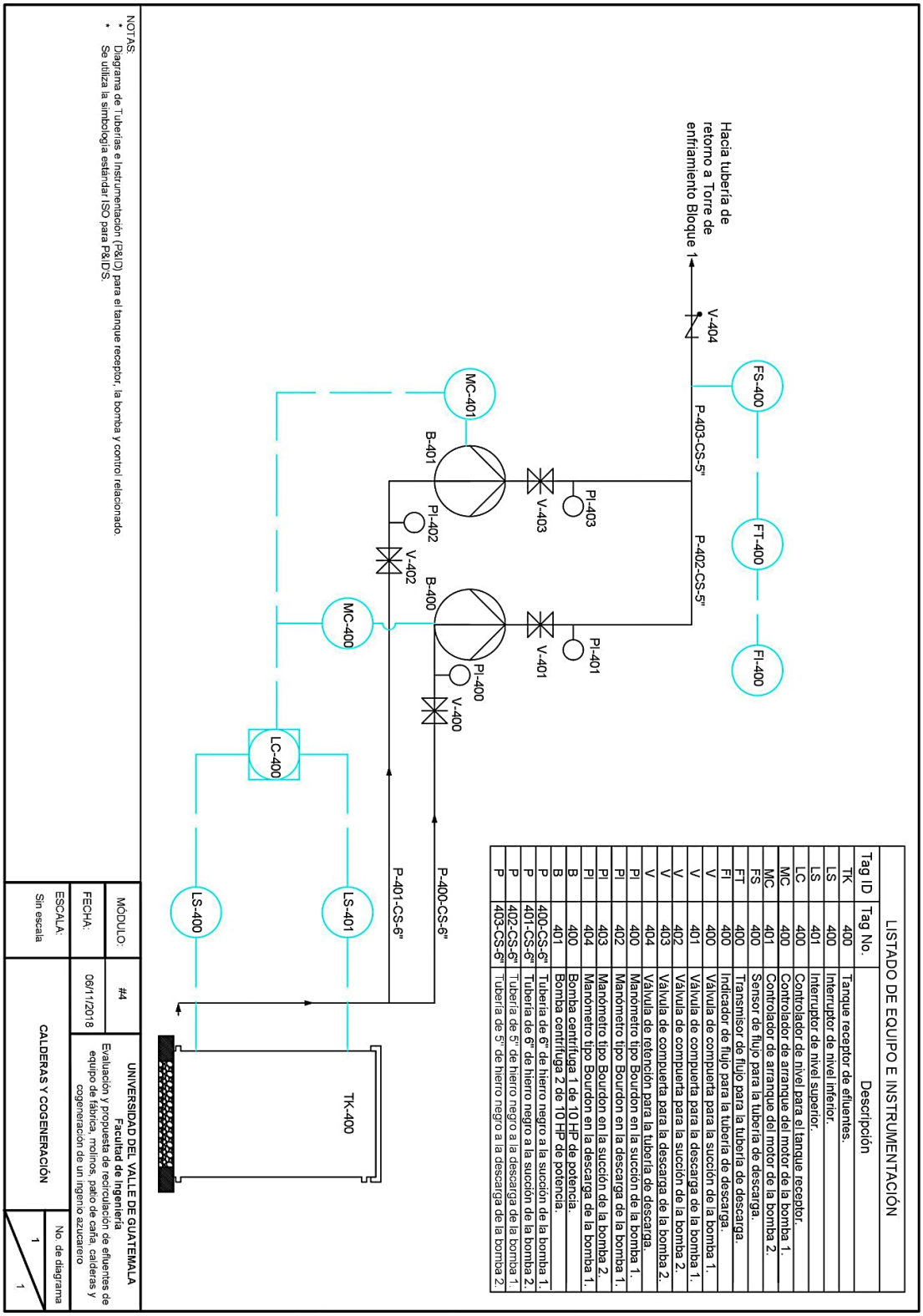


Figura 60. P&ID de circuito de bombeo de tanque receptor de efluentes.

Diagrama de control e instrumentación (P&ID) para el circuito de bombeo desde el tanque receptor de efluentes de agua de enfriamiento y purgado.



LISTADO DE EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN		
Tag ID	Tag No.	Descripción
TK	400	Tanque receptor de efluentes.
LS	400	Interruptor de nivel inferior.
LS	401	Interruptor de nivel superior.
LC	400	Controlador de nivel para el tanque receptor.
MC	400	Controlador de arranque del motor de la bomba 1.
MC	401	Controlador de arranque del motor de la bomba 2.
FS	400	Sensor de flujo para la tubería de descarga.
FT	400	Transmisor de flujo para la tubería de descarga.
FI	400	Indicador de flujo para la tubería de descarga.
V	400	Válvula de compuerta para la succión de la bomba 1.
V	401	Válvula de compuerta para la descarga de la bomba 1.
V	402	Válvula de compuerta para la succión de la bomba 2.
V	403	Válvula de compuerta para la descarga de la bomba 2.
V	404	Válvula de retención para la tubería de descarga.
PI	400	Manómetro tipo Bourdon en la succión de la bomba 1.
PI	402	Manómetro tipo Bourdon en la descarga de la bomba 1.
PI	403	Manómetro tipo Bourdon en la succión de la bomba 2.
PI	404	Manómetro tipo Bourdon en la descarga de la bomba 1.
B	400	Bomba centrífuga 1 de 10 HP de potencia.
B	401	Bomba centrífuga 2 de 10 HP de potencia.
P	400-CS-6"	Tubería de 6" de hierro negro a la succión de la bomba 1.
P	401-CS-6"	Tubería de 6" de hierro negro a la succión de la bomba 2.
P	402-CS-6"	Tubería de 5" de hierro negro a la descarga de la bomba 1.
P	403-CS-6"	Tubería de 5" de hierro negro a la descarga de la bomba 2.

3. Costos totales de la inversión para el circuito de recirculación

Cuadro 54. Resumen del costo de la implementación del circuito de recirculación.

Resumen del costo total de la implementación del circuito de recirculación propuesto para los efluentes de equipos seleccionados y bajo la propuesta de enfriamiento en serie.

Aspecto	Costo
Accesorios y tuberías para dirigir efluentes hacia tanque receptor	Q44,477.53
Tanque receptor	Q9,052.86
Bombas, accesorios y tubería para circuito de bombeo	Q209,646.24
Labores de excavación y mano de obra (15% del total)	Q8,029.56
Contingencia (10% del total)	Q27,120.62
Total	Q298,326.81

Observaciones:

[1] Los costos de las labores de excavación y mano de obra se calculan porque en algunos equipos es necesario realizar canales para la distribución de la tubería hacia el tanque recolector (véase la sección de metodología). Entonces, sobre los costos de inversión de accesorios, tuberías y el tanque receptor se calcula el 15%, por lo que no se consideran los costos de mano de obra y demás aspectos adicionales referentes a la instalación del sistema de recirculación propuesto como tal.

[2] Se obtiene un 10% de contingencia sobre el total de costos de accesorios, tuberías, tanque y sistema de bombeo en caso de imprevistos respecto de la construcción de los canales adicionales o mayores requerimientos de accesorios y/o equipo.

[3] Los costos detallados de cada rubro de la inversión se detallan en la sección de anexos.

E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A”

1. Análisis de caudal y propiedades

Cuadro 55. Caudales y temperaturas obtenidos en los días de medición

Sector	Localización	Caudal (m³/s)			Temperatura (ºC)		
		Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Reductores	Molino 1	1.81E-03	2.55E-03	2.01E-03	27.0	30.0	28.5
	Molino 2	1.21E-03	1.33E-03	1.28E-03	27.0	30.0	28.2
	Molino 3	1.50E-03	2.19E-03	1.75E-03	27.0	30.0	28.8
	Molino 4	1.43E-03	2.00E-03	1.82E-03	26.0	30.0	28.3
	Molino 5	1.27E-03	1.99E-03	1.60E-03	27.0	29.5	27.8
	Molino 6	1.14E-03	1.79E-03	1.38E-03	29.0	34.0	30.6
Chumacera lado corona	Molino 1	1.36E-03	1.75E-03	1.48E-03	24.0	31.0	28.8
	Molino 2	1.68E-03	2.28E-03	1.96E-03	24.0	32.0	27.9
	Molino 3	1.48E-03	1.98E-03	1.73E-03	24.0	32.0	28.1
	Molino 4	1.05E-03	1.96E-03	1.59E-03	24.0	34.0	28.9
	Molino 5	1.08E-03	1.56E-03	1.35E-03	25.0	31.0	27.6
	Molino 6	1.18E-03	1.49E-03	1.38E-03	25.0	32.0	28.4
Chumacera lado espiga	Molino 1	1.34E-03	1.82E-03	1.60E-03	25.0	39.0	29.6
	Molino 2	9.63E-04	1.94E-03	1.46E-03	24.0	32.0	27.9
	Molino 3	1.21E-03	1.92E-03	1.47E-03	25.0	32.5	28.9
	Molino 4	5.08E-04	6.61E-04	6.03E-04	24.0	37.0	30.3
	Molino 5	9.08E-04	1.38E-03	1.13E-03	25.0	31.5	27.8
	Molino 6	9.85E-04	1.34E-03	1.16E-03	25.0	36.0	29.6
Reductores Planetarios	Molino 1	7.69E-04	1.17E-03	1.02E-03	28.0	31.0	29.8
	Molino 2	1.72E-03	2.09E-03	1.90E-03	30.0	33.0	31.7
	Molino 3	4.91E-04	8.26E-04	6.14E-04	32.0	33.0	32.5
	Molino 4	1.05E-03	1.60E-03	1.38E-03	29.0	32.0	30.3
	Molino 5	9.23E-04	9.52E-04	9.36E-04	29.0	31.5	30.2
	Molino 6	1.29E-03	1.96E-03	1.63E-03	29.0	34.0	31.0
Caudal total (m³/s)		2.83E-02	4.05E-02	3.42E-02			
Caudal desechado en zanja (m³/s)		5.49E-03	8.04E-03	6.76E-03			
Caudal recolectado en Tanque A (m³/s)		2.28E-02	3.25E-02	2.75E-02			
Caudal que se envía a patio A (m³/s)		7.55E-03	1.18E-02	9.61E-03			
Caudal por recuperar (m³/s)		1.53E-02	2.07E-02	1.79E-02			

Notas: Ver datos originales en los cuadros 50-73. Caudales mínimos, máximos y promedio de tres datos obtenidos para las chumaceras y reductores de cada molino del tándem analizado a través de un promedio de datos de los diferentes días de muestreo.

Cuadro 56. Comparación de parámetros de calidad de agua obtenidos con requeridos.

Comparación de parámetros de calidad de agua obtenidos con requeridos por una torre de enfriamiento.

Rubro	Rango de parámetros	Parámetros requeridos por torre	*Porcentaje de variación	Cumple
Temperatura (°C)	28.49 - 29.91	20 – 50	33.50%	Sí
pH	8.19 - 8.41	6.5 - 8.5	1.30%	Sí
Conductividad (µs/cm)	196.45 - 213.95	< 1200	3.90%	Sí
Salinidad (ppm)	89.98 - 99.22	< 800	3.30%	Sí
Dureza (ppm)	113.08 - 124.12	< 1200	0.90%	Sí
Sólidos suspendidos (ppm)	14.68 - 30.38	< 1500	11.70%	Sí
Grasas y aceites (ppm)	Sin presencia	< 10	-	Sí

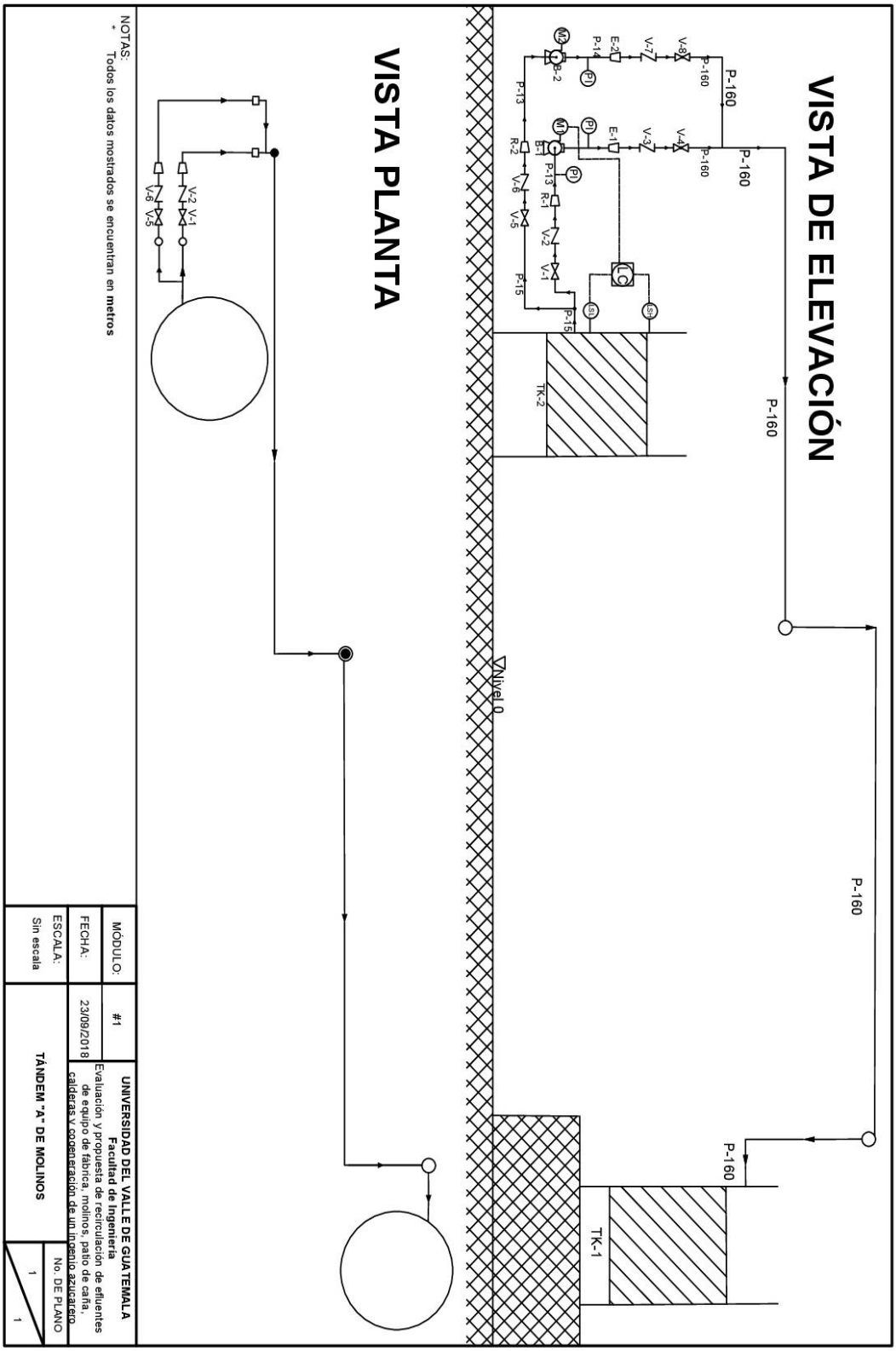
Nota: Los resultados presentados en el cuadro anterior se calcularon a partir de un promedio de datos de los diferentes días de muestreo y se usó la desviación estándar de cada conjunto de datos para presentarlos como un rango. Para obtener el porcentaje de variación, los datos de las propiedades se compararon con las propiedades de las fuentes de agua. Para determinar si los parámetros obtenidos de los diferentes análisis son válidos para enviarlos a una torre de enfriamiento, estos se compararon con los requeridos por dicho equipo y se determinó que todos cumplen. Los parámetros requeridos por la torre son datos teóricos proporcionados por el ingenio en estudio.

2. Circuito propuesto

Cuadro 57. Clave de variables para identificación de equipos en Fig 61-64

Variable	Descripción	Especificaciones
V-1	Válvula de compuerta a la entrada	0.1524 m (6 in)
V-2	Válvula de cheque a la entrada	0.1524 m (6 in)
R-1	Reductor	0.1524x0.0762 m (6x3 in)
E-1	Expansor	0.1016x0.1524 (4x6 in)
V-3	Válvula de cheque a la salida	0.1524 m (6 in)
V-4	Válvula de globo a la salida	0.1524 m (6 in)
V-5	Válvula de compuerta a la entrada	0.1524 m (6 in)
V-6	Válvula de cheque a la entrada	0.1524 m (6 in)
R-2	Reductor	0.1524x0.0762 m (6x3 in)
E-2	Expansor	0.1016x0.1524 (4x6 in)
V-7	Válvula de cheque a la salida	0.1524 m (6 in)
V-8	Válvula de globo a la salida	0.1524 m (6 in)
PI	Indicador de presión	Manómetro de Bourdon
M1 - M2	Motor bomba centrífuga	3.73 kW (5 hp)
B1 - B2	Bomba centrífuga	2.83 kW (3.8 hp)
LSH	Sensor de nivel superior	-
LSL	Sensor de nivel inferior	-
LC	Controlador de nivel	-
P-15	Tubería de acero al carbón	0.1524 m (6 in)
P-13	Tubería de acero al carbón	0.0762 m (3 in)
P-14	Tubería de acero al carbón	0.1016 m (4 in)
P-160	Tubería de acero al carbón	0.1524 m (6 in)

Figura 61. Propuesta de recirculación vía aérea, P&ID[2]



[2] Para ver la nomenclatura, ver Cuadro 57.

Figura 62. Acercamiento de la propuesta de recirculación vía aérea, P&ID[3]

VISTA ELEVACIÓN

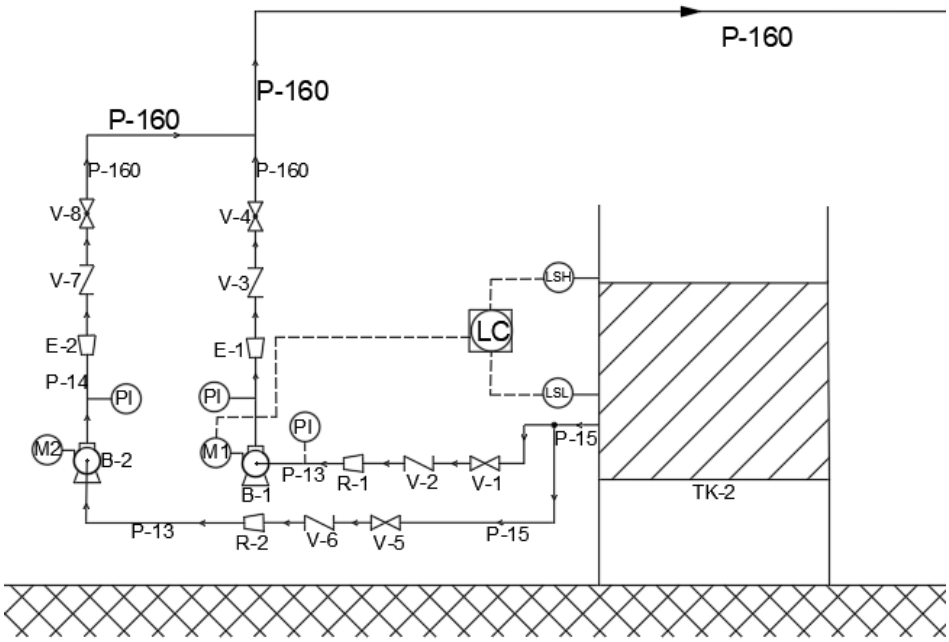
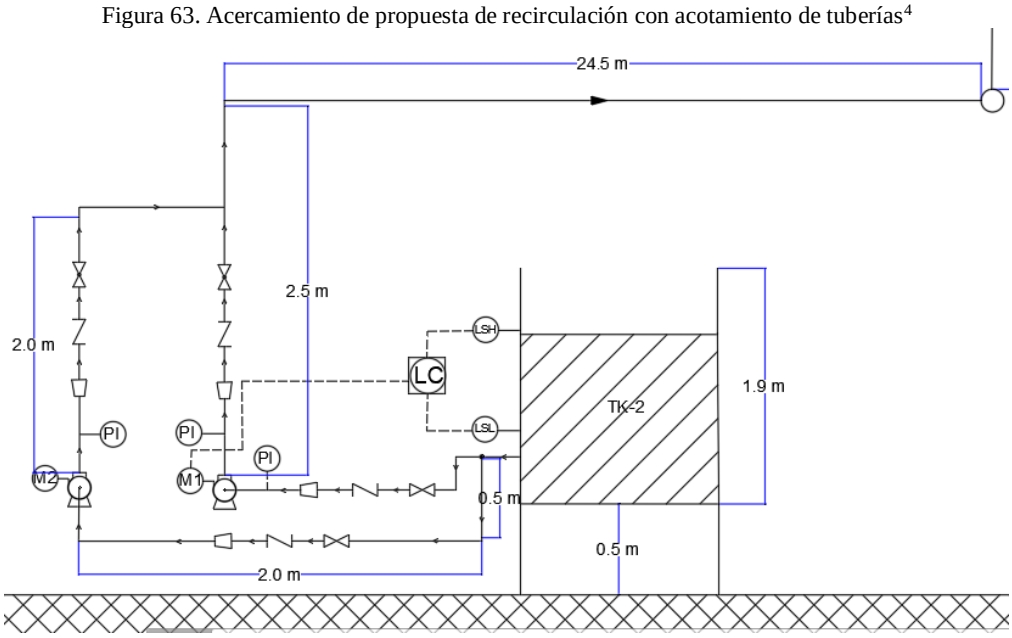
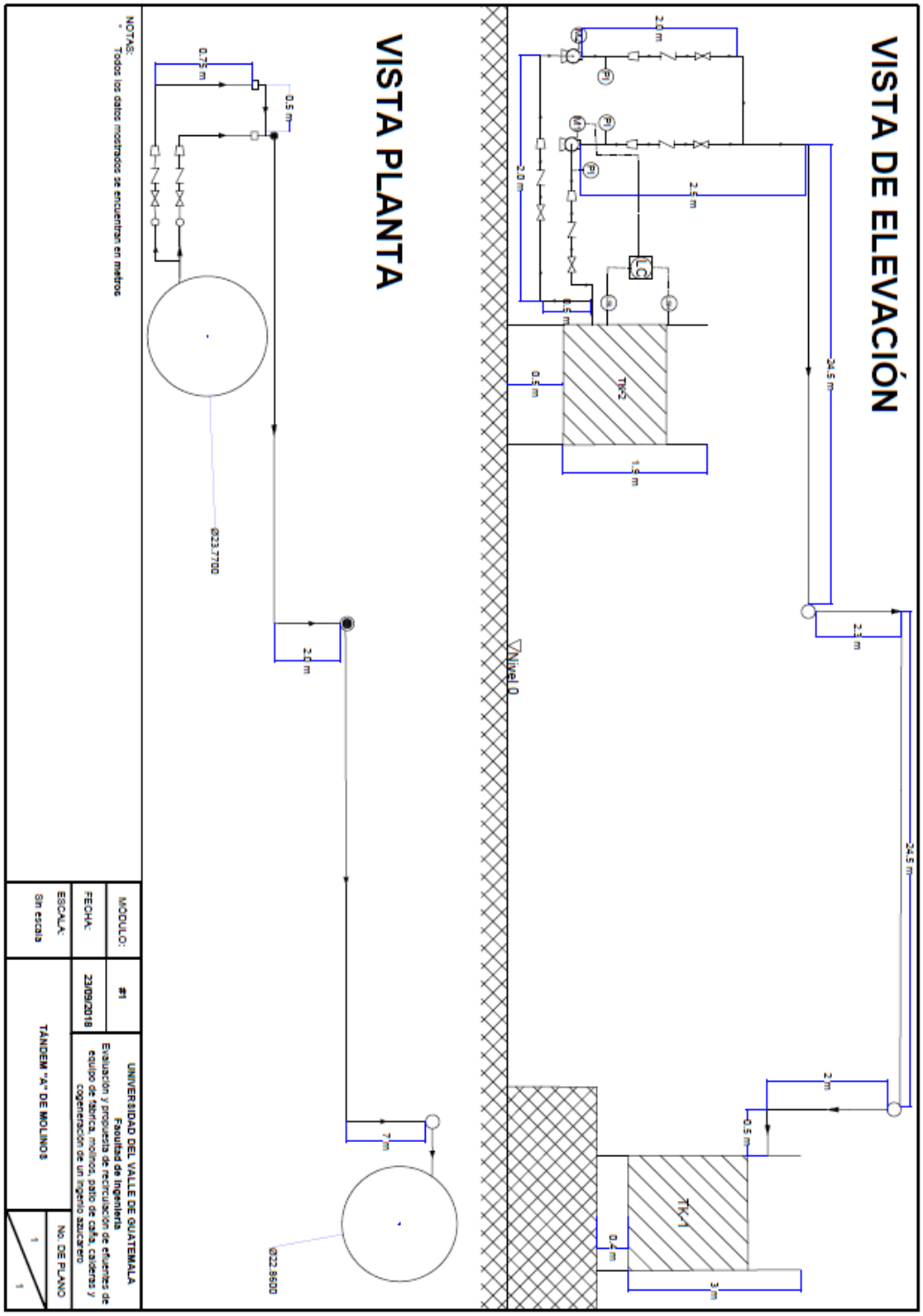


Figura 63. Acercamiento de propuesta de recirculación con acotamiento de tuberías[4]



[3] Para ver la nomenclatura, ver Cuadro 57
[4] Para ver la nomenclatura, ver Cuadro 57.

Figura 64. Esquema de propuesta de recirculación 1 con acotamiento de tuberías[5]



[5] Para ver la nomenclatura, ver Cuadro 57.

Cuadro 58. Datos obtenidos para selección de bomba requerida en el sistema

Rubro	Ubicación	Sistema
		Aéreo
Caudal (m³/s)		0.022
Diámetro nominal	Tubería	0.1524 m (6 in)
Velocidad (m/s)	Fluido	1.22
No. Reynolds	Fluido	18744.33
Trayecto	Tuberias	63.3984
Pérdidas	Por superficie (m²/s²)	41.45
	Por accesorios (m²/s²)	12.59
	Por expansión (m²/s²)	0.23
	Por contracción (m²/s²)	0.22
Bernoulli	Presión A (Pa)	110032.30
	Presión B (Pa)	102200.00
	Za (m)	0.00
	Zb (m)	2.80
	Cabeza total (m)	7.22
NPSH	Requerido (m)	1.62
	Disponible (m)	5.19

Cuadro 59. Especificaciones de bomba cotizada para sistema propuesto de recirculación

Condiciones de operación		
Modelo		3196
Tamaño		3x4-8
Líquido		agua
Temperatura		40
Caudal		350 gpm
Cabeza total		8.5 m
Rendimiento de la bomba		
Eficiencia		69%
NPSH_r		1.62 m
NPSH_a		5.19 m
RPM		1760
Potencia hidráulica		3.8 hp
Potencia del motor (BHP)		5 hp
Material		Hierro
Precio ExWork	$	5,978.00

3. Inversión circuito propuesto

Cuadro 60. Inversión circuito de recirculación propuesto para el tándem "A" de molinos.

Rubro	Porcentaje	Propuesta	
		Monto	
Total insumos cotizados		Q	140,345.98
*Instalación	20%	Q	28,069.20
*Eléctrico	7%	Q	7,966.68
*Instrumentos	6%	Q	183.04
Contingencia	5%	Q	7,017.30
Total instalación		Q	183,582.20

Nota: En el cuadro anterior se presenta, a través de una estimación con factores obtenidos del Perry, 1997, los costos de instalación del circuito de recirculación de agua propuesto para recuperar 1,554 m^3/día. Los porcentajes son estimaciones para la mano de obra de instalación de tuberías, eléctricos e instrumentos.

Cuadro 61. Costos para el circuito propuesto en el tándem "A".

Rubro	%	Propuesta	
Costo de operación	-	Q	7,666.99
Costo mantenimiento	6%	Q	11,014.93
Total de costos		Q	18,681.92

Nota: Los costos energéticos de la bomba se consideró como costos de operación y el costo de mantenimiento se obtuvo con un factor obtenido en el libro de Perry, 1997.

4. Costo de inversión, operación y mantenimiento para el proyecto final.

Cuadro 62. Inversión por insumos e instalación del sistema completo de recirculación.

Rubro	Costo
Insumos cotizados	Q 1,844,573.95
Instalación	Q 399,100.43
Total	Q 2,243,674.38

Nota: El sistema completo de recirculación incluye las áreas de: molinos, patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración. Para el total de insumos ver anexos.

Cuadro 63. Costos de operación y mantenimiento del sistema completo de recirculación.

Rubro	Costo	
Operación	Q	62,869.31
Mantenimiento	Q	134,620.46
Total	Q	197,489.77

Nota: Los costos de operación (ver anexos) son obtenidos a partir del consumo energético de las bombas propuestas en el sistema y el costo de mantenimiento a partir de factor del libro de Perry, 1997.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Módulo 1: Área de molinos tándem "B"

Como objetivo principal se planteó evaluar y proponer la recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento en el área de molinos Tándem B en un ingenio azucarero. Para esto se realizaron mediciones de caudal y análisis fisicoquímicos de los efluentes de agua de enfriamiento en el Tándem B de molinos.

Los caudales obtenidos de los efluentes en el tándem B muestran rangos entre 0.1 y 2.4 $x10^{-3}$ m^3/s. Las chumaceras, en general, poseen los rangos más amplios de caudal. Además, las chumaceras de un mismo molino difieren en sus caudales a pesar de que estén enfriando el mismo equipo. Estas variaciones en las chumaceras se deben a la manipulación, por los operarios, de las válvulas de las tuberías de agua de alimentación. Al mismo tiempo, la transferencia de calor se ve afectada por las condiciones de las chumaceras, ya que estas presentan desgaste y corrosión. Al no alcanzar una temperatura adecuada de operación, se utiliza el agua que sale de las chumaceras para enfriar directamente el eje de las masas. Por otra parte, la unidad hidráulica es el equipo que posee el rango más pequeño de caudal, el cual es de 0.1 $x10^{-3}$ m^3/s, en esta área. Esto se debe a que no existe una manipulación del agua de alimentación.

El agua utilizada para la unidad hidráulica proviene del tanque elevado, el cual se abastece de agua de pozos. Por esta razón, las propiedades fisicoquímicas del agua de este equipo difieren del agua utilizada en los reductores y chumaceras, ya que estos se alimentan con agua de río. Los análisis muestran que los parámetros de conductividad, dureza total, salinidad y temperatura del agua del río Provincias son más bajos que el agua de pozos a excepción del pH. Estos datos coinciden con lo reportado en la literatura, ya que el agua de pozos se caracteriza por tener una mayor presencia de solidos disueltos, que el agua superficial que en este el agua de pozos tiene una concentración de solidos disueltos de 193. 28 ppm y el agua de río de 118.52 ppm. Sin embargo, las dos se pueden clasificar como aguas con dureza y conductividad moderada ya que se encuentran en el rango de dureza de 100 – 300 ppm y conductividad de 150 – 500 µS/cm. A pesar de que el agua de río posee parámetros más bajos, por su pH tiene una mayor capacidad de precipitar y formar incrustaciones.

Existe una diferencia en los parámetros obtenidos en los efluentes de los equipos y las fuentes de agua correspondientes. La variación ocurrió ya que los análisis de los efluentes se realizaron en diferentes días que los análisis del río y del tanque elevado, Sin embargo, los equipos alimentados por agua de río se encuentran dentro del rango de los parámetros de esta fuente. Por otra parte, el agua de la unidad hidráulica presenta parámetros más bajos de conductividad, dureza total, salinidad y pH, con respecto a los obtenidos del tanque elevado, y no se encuentra dentro del rango de pH 7.9 – 8.1; conductividad 294.0 – 302.0; salinidad 134.0 – 139.0; y dureza total 133.9 – 142.8. Este equipo posee una temperatura de operación promedio de 33.7°C. Esto pudo haber provocado la precipitación de carbonatos, disminuyendo la dureza del agua, y con esto los demás parámetros. Se debe tomar en cuenta que este equipo no presentó ningún problema alguno y su funcionamiento fue continuo durante la zafra. Por esta razón, se debe realizar un análisis de los parámetros de pH, conductividad, salinidad, y dureza total del agua de pozos, el agua en la alimentación, y los efluentes de este equipo, esto con el fin de verificar si hay una variación en los parámetros del agua, y verificar si es el equipo quien lo provoca o es la línea de alimentación.

La presencia de grasas y aceites, que se determinó cualitativamente, en las chumaceras se debe al contacto que tiene el agua con los ejes de las masas. Esta cae directamente al piso y se recolecta por canaletas, en donde se contamina con bagazo y otras partículas. El caudal utilizado para el enfriamiento externo de los ejes es alrededor del 90% del agua total que se usa en las chumaceras. En promedio es un consumo de 11.8 $x10^{-3}$ m^3/s (188.4 gpm) y representa más del 50% del agua de enfriamiento total que se usa en esta área. A pesar de ser un caudal significativo, no se recuperará y tratará para ingresarlo al sistema de recirculación propuesto en este proyecto. Esta pérdida de agua se debe disminuir al evaluar y modificar los sistemas de enfriamiento actuales. Por otra parte, la concentración de solidos suspendidos es menor que la concentración recomendada para una torre de enfriamiento.

Los datos obtenidos de los parámetros y caudales del agua (ver cuadro 3 página 32) se pueden utilizar como un primer acercamiento a las condiciones de operación del agua utilizada en los equipos de enfriamiento. Sin embargo, se necesita realizar una evaluación más detallada y con una mayor cantidad de datos, para poder realizar un análisis estadístico del comportamiento real de las condiciones del agua utilizada en el ingenio. Para esto es necesario realizar los análisis al iniciar el proceso de molienda y al finalizar; también en condiciones normales de operación; en aumentos de la molienda; en la época de lluvia y en la época de verano. Esto con el fin de identificar el consumo real de agua y los picos de demanda. Al mismo tiempo, esto permitirá ver el cambio en las propiedades químicas y físicas del agua durante las diferentes condiciones climáticas durante la zafra. A pesar de esto, todos los cálculos realizados se basaron en los datos recopilados, por ser la única información disponible con respecto al agua.

El balance de energía, utilizado para determinar la temperatura de entrada de la mezcla de los efluentes de fábrica, patio de caña y molinos del sistema de recirculación, se realizó asumiendo un diferencial de temperatura constante en los equipos de enfriamiento con respecto a la temperatura de las fuentes de agua correspondientes. Esto se asumió, ya que no se pudieron obtener los datos de operación (temperaturas y flujos) de los aceites y equipos. Al realizar el balance en cada uno de los tanques de molinos con las temperaturas promedio, se obtuvieron temperaturas mayores a las mediciones realizadas en cada tanque. Para el tanque del tándem A se obtuvo una diferencia de 4.1°C y para el tanque del tándem B se obtuvo una diferencia de 2.9°C. Uno de los factores que provocaron esta diferencia de temperaturas, fue el tipo de operación del sistema de agua de enfriamiento en los tándems. El agua es expuesta al ambiente al recolectarla en cada equipo, y al llegar al tanque, lo cual provoca el enfriamiento del agua. Para el cálculo de la temperatura de entrada a la torre de enfriamiento, se tomaron en cuenta las pérdidas que existen en las chumaceras. Esto se hizo ya que es la forma de operación actual de los equipos, y para no sobredimensionar los equipos del sistema propuesto.

Con los datos de operación de la torre de enfriamiento se obtuvo una temperatura de salida de 30°C. Con esta temperatura, con el flujo de operación de la torre y con la cantidad de agua de reposición por la perdida en chumaceras en ambos tándems de molinos, se determinó la temperatura de entrada en la torre. El agua de pozos tiene una temperatura de 25°C y la perdida de agua en chumaceras es de 22.4 $x10^{-3}$ m^3/s (355.5 gpm). Al realizar el balance se obtuvo que la temperatura del agua que entrará a los equipos es de 28.4°C. Realizando nuevamente el balance, asumiendo los diferenciales de temperatura antes mencionados y con la temperatura de entrada de los equipos, determinó que la temperatura del agua de entrada a la torre sería de 37.5°C.

Se determinó que se deben purgar 0.23 $x10^{-3}$ m^3/s (3.63 gpm) y se deben compensar 0.66 $x10^{-3}$ m^3/s (10.50 gpm), para mantener una dureza por debajo de 400 ppm en el sistema. Sin embargo, el agua que se pierde en las chumaceras es mayor al agua de purga en el sistema, por lo que no es necesario realizar una purga directamente en la torre. Por otra parte, sí se deben compensar estas pérdidas y las perdidas por evaporación y arrastre. Al operar el sistema de esta forma, la dureza se estabiliza en una concentración de 141 ppm.

Se decidió enviar el agua de la torre al tanque elevado de la fábrica, ya en este se encuentra instalado el sistema de tuberías que alimentan a los equipos. Al mismo tiempo, este ya posee un control de nivel para controlar el flujo de entrada de alimentación al tanque y poder suministrar la demanda de agua a los equipos. No se puede tomar una decisión sobre la fuente de agua a utilizar para la compensación de agua en el sistema con los parámetros medidos. Por esta razón, se decidió utilizar agua de pozos ya que esta es el agua que se utiliza en el ingenio para los equipos con mayor exigencia en la calidad del agua como calderas y condensadores. Además, se sabe que las propiedades del agua superficial tienen una mayor variación

durante las distintas variaciones climáticas del año, mientras que los parámetros del agua de pozos poseen una mayor estabilidad durante el año.

Para el diseño del sistema de recirculación en el tándem B de molinos se decidió instalar una tubería que conectara a los equipos y al tanque elevado. Se decidió conectar la tubería actual que alimenta a los reductores y chumaceras con agua de río provincias con la nueva tubería, separando cada una con una válvula. Esto permitirá integrar el agua de río al sistema si fuera necesario, sin tener que volver a instalar un sistema de tuberías o modificar el sistema de recirculación. Solo se necesita de este sistema de tuberías para abasteces a los dos tándems, debido a que el agua se distribuye en ambos tándems por una sola tubería. Además, la unidad hidráulica ya posee un sistema de tuberías conectado al tanque elevado, por lo que no es necesario realizar un diseño nuevo del agua de alimentación.

Para el sistema de recirculación se debe utilizar hierro galvanizado como material de las tuberías, accesorios y equipo. Sin embargo, las tuberías del sistema de recirculación serán de acero al carbón a solicitud del ingenio, ya que las tuberías del sistema actual son de este material. Para un sistema de agua se prefiere un sistema de hierro galvanizado para evitar la presencia de hierro en el agua, el cual puede precipitar y dañar la tubería. Sin embargo, se prefiere evitar la corrosión galvánica de las tuberías. En este caso la tubería de hierro galvanizado se podría corroer si se conecta a las tuberías actuales del ingenio. Se realizaron cotizaciones de tuberías, accesorios y bombas para las inversiones iniciales para ambos sistemas diseñados (Cuadro 29 página 126, Cuadro 30 página 126). El sistema del tanque elevado a molinos posee la ventaja de trabajar con un sistema de alimentación por gravedad, lo que disminuye la inversión inicial y posteriormente influenciará en los costos de operación del sistema.

Finalmente, se debe indicar que el sistema de recirculación propuesto y los análisis realizados se basaron en los sistemas y condiciones de trabajo de la zafra 2017-2018. Por lo tanto, se debe tomar en consideración las modificaciones que se realicen durante el tiempo de mantenimiento previo a la siguiente zafra, para implementar este sistema. Para concluir, se diseñó el sistema de tuberías y equipos que van de la torre de enfriamiento al tanque elevado de fábrica el cual se posee una bomba centrifuga de 14.9 kW y un recorrido de tubería de 105 m con un flujo máximo de operación de 0.047 m^3/s. Al mismo tiempo, se diseñó el sistema de tuberías y equipos que van del tanque elevado a molinos, el cual distribuye por gravedad el agua a los equipos con un recorrido de tubería de 23.5 y un caudal máximo de operación de 0.067 m^3/s, con una inversión inicial del sistema de recirculación en el área de molinos tándem B será de Q18,032.99 mientras que la inversión del circuito de recirculación de la torre al tanque elevado será de Q278,331.48. Además, en base a los resultados se obtuvo un primer acercamiento de las condiciones de operación actuales del agua de enfriamiento en esta área.

B. Módulo 2: Área de patio de caña

El objetivo principal del presente trabajo fue evaluar y proponer la recirculación de efluentes de los sistemas de enfriamiento de patio de caña en un ingenio azucarero. Como parte de la evaluación del sistema, se identificaron las fuentes de agua que abastecen a los equipos de enfriamiento. Cada tándem del patio utiliza el agua de los tanques de molinos. Esto quiere decir que los intercambiadores de calor del área de patio reciben agua de enfriamiento cuyas características ya han sido alteradas por el sistema de enfriamiento de molinos.

El Cuadro 36 (pág. 136) muestra los resultados de mediciones de caudal para los efluentes de los equipos de enfriamiento. De forma general, los resultados muestran amplios rangos de caudal para cada equipo. Durante el proceso de medición de caudales, fue evidente que el flujo de agua variaba de forma importante según la hora del día y según el día medido. En los resultados no se pudo observar ninguna tendencia asociada a la variación de días y horas, ya que los tres días analizados fueron aislados y los caudales no fueron medidos exactamente a las mismas horas. Sin embargo, como se observa en la Figura 66 (ver pág. 284), la distribución del caudal total promedio en cada equipo sí siguió un comportamiento similar en los tres días evaluados. En una operación normal, los operadores ajustan el caudal de enfriamiento abriendo y cerrando las válvulas de entrada al intercambiador, bajo su propio criterio. De acuerdo con la Figura 66, las modificaciones de los caudales para cada equipo sí se realizaron más o menos en la misma proporción. Cabe resaltar que estas variaciones entre los datos promedio, mínimo y máximo entre los tres días y las diferentes horas son mayores que las desviaciones estándar obtenidas en la serie de datos del Cuadro 128 – Cuadro 129 (ver págs.- 197-198) por lo que no se deben a errores en la medición, sino a una diferencia real en el caudal.

Si se comparan los intercambiadores de los mismos equipos para cada tándem (por ejemplo los viradores, reductores de pre-cuchillas y rodamientos) se observa que el caudal de enfriamiento que se utiliza en el Tándem A es mayor que el utilizado en el Tándem B. Además, la temperatura de salida del agua de los equipos del Tándem A es aproximadamente 3 ºC mayor que la del B. En una operación normal, el Tándem A procesa más caña que el B, es decir que los equipos del patio A realizan más trabajo que los del B. Esta puede ser una causa de la elevación de temperatura de los intercambiadores del Tándem A. Podrían haber otros factores que provoquen este aumento de la temperatura y que sean independientes de la carga de los equipos, por ejemplo el flujo con el que recircula el lubricante, las condiciones de corrosión e incrustaciones en el intercambiador, etc. Sin embargo, estas últimas son poco probables ya que los intercambiadores en ambos tándems son del mismo tipo, reciben el mismo mantenimiento y utilizan el mismo lubricante.

La ausencia de datos asociados al intercambio de calor que se requiere entre el agua y el lubricante no permite realizar una evaluación sobre el flujo y temperaturas de agua de enfriamiento que realmente requiere el equipo. Un análisis como este podría reducir los costos de operación del sistema de

enfriamiento, considerando que existen dos bombas que suministran el agua desde molinos hacia el patio de caña, las cuales podrían estar sobredimensionadas.

Los promedios de las temperaturas de salida del agua de enfriamiento de los equipos oscilan entre 27 y 34 ºC. Aunque estas temperaturas no sean lo suficientemente elevadas como para justificar su enfriamiento en una torre, tampoco es posible determinar si son aceptables para que el agua recircule una segunda vez en los equipos (logrando el enfriamiento que requiere el lubricante y manteniendo el caudal constante). Una torre de enfriamiento que opera bajo las condiciones meteorológicas de Escuintla podría enfriar el agua hasta 31 ºC. Considerando esta como la nueva temperatura de ingreso a los equipos, la temperatura de salida sería mayor, pudiendo llegar hasta los 40 ºC[6]. Los flujos a esta temperatura justificarían el uso de una torre de enfriamiento, ya que aunque no se conocen los requerimientos teóricos de flujo de agua para el intercambiador, el agua estaría casi 15 ºC arriba de su temperatura de operación normal.

En general, los resultados de las propiedades químicas como pH, conductividad, salinidad y dureza son similares para los equipos de cada tándem, sin embargo existe una diferencia entre los valores para el Tándem A y Tándem B. Esto se debe a que cada tándem es suministrado por una proporción diferente de agua de río y pozos. Como puede observarse en el Cuadro 125 (ver pág. 201), el agua de pozos (Tanque Elevado) presenta niveles mayores de conductividad, salinidad y dureza que el agua del Río Provincias. El 94% del agua utilizada en el Tándem B proviene del Río Provincias y el 6% del Tanque Elevado (pozos). En el Tándem A, únicamente un 70% del agua proviene del río. Por lo tanto, es razonable que el Tándem A cuente con valores más elevados de conductividad, salinidad y dureza, ya que un 30% de su agua es de una fuente subterránea. Esto no pudo comprobarse con un promedio ponderado de las propiedades de las fuentes, ya que estas no fueron medidas el mismo día.

Debido a que los valores de pH, conductividad, salinidad y dureza son muy similares para cada tándem, se puede inferir que la proporción de agua de río y pozos se mantiene para todos los equipos, es decir que el agua de ambas fuentes logra mezclarse bien. Los resultados que presentan una mayor diferencia entre cada quipo son los de dureza, ya que el método utilizado para determinarla tiene un mayor error. Debido a que las propiedades del agua de salida para cada tándem son similares, es poco probable que alguno de los trayectos o intercambiadores esté alterando la concentración de químicos en el agua. O de ser así, todos los equipos la alteran en la misma proporción. Para saber esto, se deben realizar más mediciones de las propiedades químicas, comparando los valores de las fuentes de agua con los efluentes de los equipos de molinos y los efluentes de los equipos de patio, medidos en el mismo día.

Los resultados de sólidos suspendidos no presentan ninguna relación especial entre el agua de cada tándem. Es probable que parte de la contaminación del agua con partículas suspendidas ocurra en los

[6] Los datos mencionados sobre la temperatura de salida del agua de la torre son estimaciones. Para datos más precisos, consultar la información en el módulo que determina las condiciones de entrada y salida de la torre de enfriamiento.

tanques de molinos, ya que son tanques abiertos que se encuentran en un ambiente donde circulan corrientes con bagacillo de caña.

Todos los valores de las propiedades (considerando mínimos, máximos y promedios) cumplen con los parámetros recomendados establecidos en el Cuadro 7 (ver pág. 46). La concentración de cloruros no se determinó directamente. Sin embargo, debido a que la salinidad determina la concentración de todos los iones en solución (cloruros y no cloruros) y esta se encuentra por debajo del límite de cloruros máximo (300 ppm), se considera que el parámetro de cloruros cumple con el valor recomendado.

Como se mencionó, las propiedades evaluadas del agua para cada tándem resultan de una mezcla entre agua de pozos y de río. Con base en los resultados, se podría proponer un circuito cerrado de recirculación que utilice únicamente agua de río, ya que presenta valores más bajos de conductividad, salinidad y dureza. Sin embargo, la evaluación no incluye información relacionada a la carga orgánica del agua. La concentración de compuestos orgánicos es tan relevante como las propiedades incrustantes y corrosivas, ya que la carga orgánica también interfiere en la transferencia de calor. Otro factor importante es que las características del agua de río son susceptibles a cambios según las condiciones meteorológicas y la época del año. Debido a esta incertidumbre en las propiedades del río, se decidió utilizar únicamente agua de pozos en el sistema de recirculación propuesto.

Para determinar si la combinación de las propiedades del agua en el circuito de recirculación tendrían un efecto incrustante o corrosivo en el sistema de tuberías e intercambio de calor, se determinó el Índice de Langelier, utilizando los valores de pH, salinidad, dureza y temperatura del agua de Tanque Elevado. En la experimentación no se determinó la alcalinidad del agua. Sin embargo, para obtener un índice estimado como referencia, se utilizó un valor de alcalinidad promedio en aguas subterráneas (200 ppm según Lenntech). El índice obtenido fue 1.0, que corresponde a un agua incrustante. Esto significa que si no se realiza ningún tratamiento para el agua, se esperaría que se formen depósitos en las superficies de tuberías e intercambiadores, más que ataques corrosivos. Si bien esta capa de incrustaciones protegería al acero de la corrosión, la transferencia de calor en el enfriamiento del lubricante se vería afectada. Debido a esto, es recomendable que el agua a recircular reciba un tratamiento para reducir la dureza, hasta un nivel en el que el agua alcance un Índice de Langelier cercano a cero, que corresponde a un agua de carácter equilibrado.

La propuesta del sistema de recirculación para los equipos de patio de caña requirió únicamente el diseño de las tuberías que transporten el agua desde los puntos finales de los intercambiadores hasta un tanque de recirculación general, el cual alimentará a una torre de enfriamiento. Para el transporte de agua fría hasta la entrada de los intercambiadores se utilizará la red actual de tuberías que existe en el patio.

Se realizaron dos opciones de diseño para el sistema de tuberías: uno aéreo y uno subterráneo. El sistema aéreo fue realizado utilizando como referencia la distribución de las tuberías instaladas en el ingenio. Debido a esto, las tuberías siguen un trayecto que se desvía para llegar hasta el tanque general. Estas desviaciones son necesarias para permitir el paso de montacargas en el área. Como alternativa, se propuso

el sistema subterráneo de tuberías, el cual utiliza un trayecto directo hacia el tanque general, por lo que requiere una menor inversión en tuberías y codos (Q. 1,622 menos que el sistema aéreo). La diferencia entre la cabeza que se necesita en cada sistema es de 0.3 m para el Tándem A y 1.6 m para el Tándem B. Utilizando las curvas características para las bombas de Goulds Pumps, se determinó que se requiere la misma bomba y el mismo motor para ambas alternativas de diseño, ya que el caudal para ambos sistemas es el mismo y las cabezas requeridas son similares. Al tratarse de la misma bomba y requerir el mismo caudal, la eficiencia esperada en la bomba del sistema aéreo es mayor, ya que se aprovecha más la cabeza máxima que esta es capaz de entregar. Considerando esto, se determinó que el sistema más apropiado a utilizar en las condiciones actuales del ingenio es el aéreo. Además, a pesar de que el sistema aéreo requiere una inversión en tuberías y codos de 1622 quetzales más, el sistema subterráneo requeriría una inversión adicional por excavación.

En el diseño propuesto se utilizan tuberías de acero al carbón. Aunque es más recomendable utilizar acero galvanizado por su mayor resistencia a la corrosión, se utilizó acero al carbón debido a que este es el material del que están hechas las tuberías del patio de caña. Para evitar una corrosión galvánica, no se recomendó utilizar otro material diferente en el sistema.

El agua del sistema de enfriamiento para patio de caña proviene de dos bombas que la impulsan a partir del área de molinos. No fue posible determinar la caída de presión ocasionada por la red de tuberías y accesorios actual del patio de caña, ya que se desconocen las pérdidas ocasionadas por cada equipo, espacialmente por los intercambiadores de calor. Por esta razón, no se pudo establecer si la presión en las tuberías era suficiente como para llegar directamente al tanque general de recirculación, sin utilizar una bomba. Además, en la red actual de tuberías existen varios puntos de caídas de presión por remolinos y tramos donde se pierde la presión entregada por la bomba de molinos hasta alcanzar presión atmosférica. Esto justificó la colocación de un tanque recolector para cada tándem. Cada tanque abastece a una bomba que transporta el agua hasta el tanque de recirculación general, cuya base se encuentra 1.2 m arriba del nivel del suelo en el patio.

Como parte del sistema se colocó un manómetro en la succión y otro en la descarga de la bomba. Estos permitirán conocer la diferencia de presión que entrega la bomba, para monitorear su funcionamiento. Se estableció una distancia de 5 veces el diámetro de la tubería entre la válvula de compuerta y la succión de la bomba. Esta recomendación se encuentra en el manual de la bomba, con el fin de reducir el riesgo de cavitación debida a la turbulencia. También se colocó un cheque en la succión y descarga, para que la bomba permanezca cebada y para protegerla de daños en el sello causados por un flujo contrario. Las válvulas de compuerta se utilizarán para aislar la bomba en caso de fallo o mantenimiento. Por último, las válvulas de globo se colocaron en la descarga para permitirle a los operarios regular el flujo de ingreso al tanque general.

Los tres tanques de almacenamiento diseñados no son requeridos para amortiguar flujos, ya que en circuito ya existe un tanque (Tanque Elevado) con un controlador de nivel, que compensa el agua perdida

en el sistema. La función principal de los tanques es recolectar el agua proveniente de distintos puntos y alimentar a cada una de las bombas de una forma más o menos constante. Para esto, se colocaron dos interruptor de nivel en cada tanque, los cuales apagan la bomba al llegar a un nivel mínimo de agua y la encienden al volver a alcanzar un nivel máximo. Este control evita que la bomba se quede vacía, lo cual provocaría daños en el equipo. Se esperaría que ocurran cambios en el nivel del tanque si existe una variación en el caudal de entrada, lo cual es muy probable según los resultados analizados anteriormente. Los tanques son capaces de almacenar el flujo promedio de agua para un tiempo de residencia específico (ver Cuadro 40 en pág. 144). En caso se tenga un mayor caudal por más tiempo, existe una tubería de rebalse que orienta el flujo hacia el área de drenaje.

La geometría de los tanques se seleccionó cilíndrica vertical, de acuerdo con el espacio disponible y la capacidad de cada uno. Los tanques están cubiertos por un techo para evitar el ingreso de sólidos suspendidos y otros elementos que puedan dañar la bomba. Para proteger a los tanques del ambiente exterior y el ataque corrosivo del agua, se recomendó el uso de tres recubrimientos para acero al carbón. Para el interior del tanque el proveedor Sherwin Williams recomendó utilizar un recubrimiento Marcopoxy; para el exterior, se colocará un anticorrosivo y un esmalte de poliuretano.

La inversión total estimada fue de Q 218,350. Esta tomó en cuenta únicamente los equipos y accesorios necesarios para la operación del sistema. Sin embargo, se recomienda evaluar la inversión en medidores de flujo, temperatura y otros equipos de control que permitan evaluar el desempeño del sistema de enfriamiento de los intercambiadores. Con esta información se podría determinar si las condiciones de enfriamiento actuales son óptimas, según los requerimientos del lubricante utilizado.

Se concluyó que las propiedades del agua, el espacio disponible y condiciones de operación en el ingenio sí hacen posible el diseño de un sistema que permita la recirculación del agua de enfriamiento de los equipos de patio de caña.

C. Módulo 3: Área de fábrica

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar y proponer la recirculación de efluentes de hidrolavadora, turbogenerador y sistemas de enfriamiento de fábrica en un ingenio azucarero.

Con el objetivo de definir los efluentes que pueden integrarse al sistema de recirculación de fábrica se realizó una serie de análisis físicos y químicos de muestras recopilas en el período de zafra. Los parámetros analizados fueron flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza total, salinidad, grasas y aceites, polarimetría y sólidos suspendidos. Las características analizadas indican si el agua es apta para ser integrada en un circuito cerrado de enfriamiento o si esta podría generar corrosión, incrustaciones, depósitos y taponamientos en las tuberías, equipos y sistemas de distribución de agua.

Los efluentes seleccionados para integrar al sistema de recirculación de fábrica son: agua de enfriamiento de cristalizadores, bombas de vacío de los filtros rotativos, centrífugas modelo G8, bombas de transferencia, vacío y meladura, y el agua de la hidrolavadora. La incorporación de estos efluentes implica la recuperación del 34.32% del agua utilizada para enfriamiento y limpieza en fábrica. Los valores obtenidos para las propiedades cumplen con los parámetros de pH, sólidos suspendidos, conductividad, cloruros, dureza total recomendados para el agua en torres de enfriamiento de material de construcción de polímero hibrido (Cuadro 7, página 46). Su reutilización también se justifica porque se determinó que no hay presencia de grasas y aceites ni azúcar. En cuanto a la temperatura de salida, esta se encuentra aproximadamente entre 32 a 50 °C, por lo que se considera necesario enfriar el agua en una torre de enfriamiento para alcanzar nuevamente las condiciones térmicas.

Es importante mencionar que los parámetros de pH, conductividad, salinidad y dureza, únicamente fueron analizados en dos días del período de zafra (ver datos en Cuadro 181 y Cuadro 182, página 338). Por lo que no pudo realizarse un estudio de la variación de estas propiedades durante los meses de zafra. Esto tiene mayor importancia en el agua utilizada para enfriamiento de cristalizadores, ya que esta proviene del río, por lo que las propiedades pueden tener mayor variación según las condiciones meteorológicas y los meses del año.

Los efluentes de las bandejas de los cristalizadores, limpieza de las bandas transportadoras de cachaza, bombas de refinería, bombas de transferencia de evaporadores y turbogenerador no fueron integrados al sistema de recirculación.

En el desarrollo del estudio el flujo de agua utilizado para limpiar las bandejas de cristalizadores se había tomado en cuenta para el circuito, ya que aproximadamente se emplea entre 2.79 – 3.28 m^3/h (ver resultados). Sin embargo, al analizar este uso, junto con los ingenieros del ingenio, se consideró que la limpieza de bandejas se puede realizar en seco para ya no utilizar agua y que no se genere este efluente.

El agua utilizada para la limpieza de las bandas transportadoras de cachaza fue rechazada por presentar un alto contenido de dureza, salinidad, turbidez, solidos suspendidos y presencia de azúcar. El alto contenido de salinidad se relaciona con concentraciones altas de cloruros, sulfatos así como excesiva dureza. El rango de dureza obtenido fue de 123 a 417 ppm, según la literatura, el agua se considera dura a partir de valores mayores a 300 ppm. El agua dura genera incrustaciones en la superficie de tuberías y equipos, lo cual puede causar problemas de obstrucción de flujo, restricción en la transferencia de calor, corrosión y disminución en la eficiencia de sistemas de enfriamiento. La turbidez determinada fue de 691 FAU y el valor para los sólidos suspendidos se encuentra en un rango de 15,196.8 – 25,328.1 ppm. En los sistemas de enfriamiento los sólidos suspendidos, en altas concentraciones, son indeseables ya que causan taponamientos, erosión en los equipos y favorece los procesos microbiológicos y corrosivos. Se determinó presencia de azúcar en este efluente, esto propicia el crecimiento microbiológico, lo cual se evita en sistemas de enfriamiento, ya que produce taponamiento y corrosión (ver resultados).

El agua de enfriamiento de las bombas de refinería presento concentración de azúcar entre 5070 – 145,626 ppm; por lo cual no se integró en el sistema por las razones indicadas anteriormente.

Para el efluente de bombas de transferencia de evaporadores se obtuvo un caudal entre 0.05 – 0.16 m^3/h, el cual se considera pequeño como para invertir en las tuberías y accesorios necesarios para integrarlo al sistema.

El agua de salida del turbogenerador no se integró al sistema, ya que el ingenio indico que en condiciones normales de operación este efluente no debe de generarse.

Se recomienda para futuros proyectos contar con los recursos materiales y humanos para analizar más muestras de cada efluente en diferentes días durante toda la zafra, para poder determinar un valor que sea representativo. Esto es necesario, ya que se observó que los valores de flujo volumétrico y propiedades físicas y químicas presentan variación según la hora y el día muestreado (ver Cuadro 193 al Cuadro 228, en anexos) Además, existen equipos como la hidrolavadora, que su uso no es diario, por lo que se dificulto analizar varias muestras en las visitas realizadas.

Actualmente, en el primer nivel de fábrica se dispone de un tanque con capacidad de 3.44 m^3, en el cual se recolecta el agua utilizada para la lubricación y uso en las bombas de transferencia, bombas de vacío y bombas de meladura. En el diseño propuesto para el sistema de recirculación de fábrica, las salidas de agua de los cristalizadores, bombas de vacío de los filtros rotativos, enfriamiento de centrífugas G8 se enviaron a este tanque. Estas salidas fueron enviadas a este tanque debido a su proximidad y a que puede aprovecharse la altura de cada salida para enviar el flujo por gravedad. Mediante la ecuación de Bernoulli se comprobó que en las cuatro salidas no se requiere de bombas para impulsar el fluido al tanque (ver Cuadro 244 al

Cuadro 245, página 380). Desde el tanque de fábrica se envió una tubería hacía el tanque general del sistema ubicado en patio de caña, para este trayecto se requiere de una bomba que cumpla con las características mostradas en el cuadro 96. La salida del agua utilizada para la hidrolavadora, se encuentra más cerca de patio de caña, es por ello, que fue enviada directamente al tanque general del sistema.

Como parte del diseño se propuso la instalación de dos Switch tipo flote en el tanque de fábrica, con el fin de monitorear el nivel del agua y evitar que la succión de la bomba se quede seca y esta cavite. En el sistema se requieren dos bombas, en el diseño propuesto se colocó un manómetro en la succión y descarga de la bomba para verificar que existe flujo y esta se encuentra operando. Se colocó una válvula de bola en la succión de la bomba con el fin de poder interrumpir el flujo para eventuales reparaciones o sustituciones. También se colocó una válvula de cheque en la succión y descarga. En la succión la válvula de cheque ayuda a mantener una columna de líquido sobre la bomba para que esta se cebe, y en la descarga evita que el fluido fluya en dirección contraria. Finalmente, se colocó una válvula de globo en la descarga para poder ajustar el caudal y presión de bombeo.

En la Figura 44 a Figura 53 se muestran los diagramas de tuberías e instrumentación y los diagramas con las longitudes de los trayectos. El recorrido propuesto para cada trayecto de tuberías toma en cuenta el espacio disponible, los equipos actuales en fábrica, los soportes existentes de tuberías, y el aprovechamiento de flujo por gravedad. Es importante mencionar que el diseño propuesto es aéreo, ya que como se mencionó anteriormente puede aprovecharse la gravedad en el transporte y no se considera adecuado efectuar una excavación subterránea en el área de fábrica por el espacio disponible y la ubicación de los equipos existentes.

Para todo el sistema de tuberías se propuso utilizar acero al carbón como material, ya que actualmente en el ingenio las tuberías instaladas son de este material. Para el transporte de agua el hierro galvanizado es más apropiado que el acero al carbón, ya que el recubrimiento de zinc evita la acumulación de depósitos minerales que pueden obstruir la tubería. El cambio de material de acero negro a hierro galvanizado provocaría el desarrollo de corrosión galvánica. Por lo que utilizar hierro galvanizado en el sistema propuesto implicaría el cambio de material en las redes de distribución actuales del ingenio.

Se determinaron los parámetros de diseño requeridos para la torre de enfriamiento del sistema de recirculación de agua propuesto en molinos, patio de caña y fábrica. Los efluentes del módulo “Evaluación y propuesta de un circuito de recirculación de los efluentes de agua de purgado y enfriamiento en los equipos de las áreas de calderas y cogeneración de un ingenio azucarero”, no se tomaran en cuenta para el dimensionamiento de la torre de enfriamiento.

El uso de la torre de enfriamiento para este proyecto es requerido para disminuir la temperatura del agua que se utiliza para sistemas de enfriamiento y limpieza en los equipos de las áreas mencionadas anteriormente. Se estimó que el agua de entrada a la torre de enfriamiento estará a una temperatura de

37.5℃. Se analizaron los datos de temperaturas y humedades relativas máximas alcanzadas durante el período de zafra 2017-2018, estas fueron proporcionadas por la estación meteorológica del ingenio. A partir de la temperatura de bulbo seco máxima y la humedad relativa máxima, se determinó que la temperatura de bulbo húmedo es de 25.65℃. Para el dimensionamiento de la torre de enfriamiento los datos utilizados corresponden a los valores máximos, ya que según Warren L. McCabe, las torres de enfriamiento deben diseñarse para satisfacer las condiciones más extremas. Se propuso una temperatura de salida del agua de 31℃, tomando como referencia la temperatura de aproximación que manejan actualmente las torres de enfriamiento del ingenio.

Se determinaron las características de diseño para la torre de enfriamiento. Se seleccionó una torre con configuración de tiro inducido y una dirección de flujo a contracorriente, ya que esta evita la recirculación del aire caliente, permite una distribución uniforme del aire y una transferencia de calor más eficiente. Para la distribución de agua en la torre se seleccionaron distribuidores de boquillas por presión, ya que estos ofrecen mayor área de contacto efectivo al aire que circula. Se escogió el relleno laminar de polipropileno. El relleno tipo laminar proporciona mayor capacidad de enfriamiento en comparación al relleno por goteo. El polipropileno es un material adecuado, ya que es ligero, relativamente barato y no favorece la aparición ni proliferación de materia orgánica o microorganismos y no sufre corrosión.

Se determinó que el flujo de aire requerido en la torre es de 161, 121.95 m^3/h. Se utilizó el valor de 1.9 veces el flujo mínimo de aire, este valor proporciono una relación L/G de 1.11, la cual se encuentra dentro del rango recomendado. Se determinó que el área requerida para la torre de enfriamiento es de $16m^2$. El área propuesta para la torre de enfriamiento, toma en cuenta el área disponible de instalación en patio de caña y que un arreglo simétrico proporcionara una distribución uniforme del agua en el empaque.

La altura del empaque obtenida es de 4.00 m, tomando en cuenta un 20% de factor de seguridad sugerido por Chemical Engineering Desing. La altura determinada para el colector de agua de la torre es de 1.09 m, esta altura es la mínima que debe tenerse para llenar el sistema de tuberías y mantener las conexiones de succión de la bomba lo suficientemente inundadas para evitar que la bomba absorba aire. Aproximadamente se requiere de 20 boquillas de aspersión con un diámetro de 0.1016 m (4 pulgadas) para distribuir el flujo de agua en el empaque. El diámetro nominal requerido para la tubería donde se instalaran los aspersores es de 0.0762 m (3 pulgadas), la distancia vertical y horizontal entre cada aspersor es de 0.81 m. Esta distancia permite que cada aspersor tenga una distribución adecuada en el área de relleno. La distancia requerida entre los aspersores y el relleno es de 0.34 m. La altura total de la torre de enfriamiento es de 5.41 m.

Se determinó que para las condiciones de trabajo requerida la eficiencia térmica de la torre dimensionada es de 54.9% y que la capacidad de transferencia de energía es de 371.64 toneladas de refrigeración (1,307.00 kW). La pérdida de flujo por evaporación representa un 0.5542% del agua total, y las pérdidas

por arrastre un 0.0200%. Estos valores son importantes para determinar el flujo de agua que debe reponerse en el proceso.

Se determinó que para el suministro y distribución del agua en la torre se requiere de una bomba con una cabeza de 10.15 m y un flujo de 172 m^3/h. El proveedor Gould Pumps sugiere el modelo 3196 de tamaño 4 x 6 -10 con una potencia de 5.6 kW (7.5 HP, ver especificaciones de proveedor de la página 651 en adelante) Tomando en cuenta la caída de presión a través del empaque, se determinó que se requiere de un ventilador con presión estática de 596 Pa, y con una potencia de 9 kW (12 HP) para su arranque. Para la torre dimensionada se recomienda incorporar sensores de temperatura del agua a la entrada y salida de la torre, para monitorear el rango de enfriamiento y la aproximación. Asimismo, instalar un sensor de humedad del aire a la salida de la torre, para conocer cuánto se humidifico el aire.

El costo estimado de inversión de la torre de enfriamiento, incluyendo planos generales de la torre, materiales necesarios para montaje, eliminadores, hardware, equipo mecánico completo, chimenea de fibra de vidrio, cabezal, estructura de fibra de vidrio, supervisión de montaje y puesta en marcha, manuales de operación y mantenimiento, bomba de alimentación, sensores de temperatura del agua y sensor de humedad del aire, es de Q572, 131.88. Se determinó que el costo de inversión para el sistema de recirculación propuesto para fábrica es Q166, 264.85. Este costo contempla materiales, accesorios, equipos principales, y en el caso de las bombas se incluyó el costo de las bombas de backup.

D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración

Como consecuencia del alto consumo de agua para el enfriamiento de equipos y otros usos indirectos dentro del ingenio, se tiene por objetivo general realizar una propuesta de recirculación de los efluentes de equipos seleccionados dentro del área de calderas y cogeneración para mejorar la gestión que actualmente se le da al recurso y cumplir una función medioambiental más responsable.

Para la propuesta de recirculación no se plantea que el agua regrese de nuevo hacia el enfriamiento de los equipos, puesto que, para ello, se debería bombear de regreso hacia el tanque elevado auxiliar o directamente hacia las líneas principales de los equipos, lo cual no se considera factible debido a la gran elevación o las múltiples distribuciones de las tuberías a considerar, que se resumen en mayores costos, además de que por los múltiples usos del tanque elevado, entre ellos el contacto directo con los procesos y servicios, se considera un riesgo potencial el que el agua pueda contaminarse y tenga un efecto sobre el personal y las áreas que se abastecen de la misma fuente.

Por ello, se propone que los efluentes se lleven hacia la torre de enfriamiento del bloque 1 de cogeneración, en dónde el nuevo ingreso permita reducir el consumo de agua de reposición del sistema, reduciendo la cantidad del recurso a extraer de los pozos o el río Provincias para el mismo uso, siendo un costo elevado para el ingenio el proceso de extracción. La recirculación se da entonces dentro del circuito de la torre de enfriamiento, y no de regreso hacia los equipos de enfriamiento.

La torre de enfriamiento opera dentro de ciertos límites de parámetros fisicoquímicos, los cuales se describen en el Cuadro 22 en el apartado de antecedentes. Esto implica que el agua por bombearse hacia el sistema debe estar dentro del rango de operación, de lo contrario, solo contribuiría a aumentar los niveles de minerales y sales más rápidamente y, por consiguiente, se deberá realizar los purgados del agua con mayor frecuencia para reducirlos; este escenario no trae beneficios directos de la propuesta, y evidencia la importancia de caracterizar los efluentes de los equipos y la mezcla dentro del tanque recolector.

Al determinar las propiedades de los efluentes, se determinó que aquellos cuya fuente de agua es la torre de enfriamiento del bloque 1 presentan valores más altos de salinidad, conductividad, dureza, pH y sólidos suspendidos respecto de los equipos que tienen como fuente el tanque elevado auxiliar. Este resultado es lógico si se compara con los resultados obtenidos para ambas fuentes de agua, que se describen en el Cuadro 284 en el apartado de anexos y Cuadro 22 en el apartado de antecedentes.

Al analizar la dureza de los efluentes, en inicio se puede establecer que, con base en la clasificación de dureza realizada por (Mola Morales & Antúnez Soria, 2018), y que se describe en el Cuadro 3 en el apartado del marco teórico, no es aconsejable recircular dentro del circuito propuesto los efluentes cuya fuente es la torre de enfriamiento del bloque 1 porque se consideran como agua dura, además de que se

encuentran por encima del rango de operación del punto de destino hacia se bombearán. De igual forma, los valores altos de otros parámetros presentan complicaciones en el transporte por tubería, como la abrasión y potencial obstrucción de las líneas de transporte por la gran cantidad de sólidos suspendidos, corrosión moderada para un nivel de pH elevado o bajo, entre otros factores.

Sin embargo, antes de descartar dichos efluentes o proponer un tratamiento, se deben evaluar las condiciones dentro del tanque recolector, que es lo que realmente interesa conocer para determinar si el conjunto de las aguas cumple con los rangos de operación de la torre de enfriamiento. Aquí se presenta el inconveniente de que no se analizaron todos los equipos dentro del área y cuyas aguas se recolectarán; esto se debió a la falta de comunicación respecto del alcance del proyecto, ya que, inicialmente, solo se planteaba recircular las salidas más representativas respecto del resto, pero posteriormente, por decisión del personal del ingenio, se consideró recolectar todos los efluentes, aunque, para entonces, ya había finalizado la época de zafra y los sistemas no se encontraban bajo operación. Caso similar ocurre al tomar un valor estimado del caudal de salida para la bomba 5 del conductor de retorno de bagazo, ya que se consideró dentro del proyecto días después de finalizada las operaciones.

Al no conocer las propiedades de todos los efluentes que llegan hacia el tanque receptor, no se puede determinar con exactitud las condiciones finales del agua, aunque, a partir de los valores que se obtuvieron durante el proyecto, se determina los parámetros finales si se juntarán solo los flujos analizados. Estos resultados, que se presentan en el Cuadro 285 del apartado de anexos, indican que, con base en los datos de operación promedio de la torre, sí es posible bombear el agua hacia ese destino. Además, se estima que también es factible la recirculación el conjunto de todos los efluentes de los equipos de las áreas, esto es, incluyendo aquellos que no se analizaron, puesto que la mayoría de los sistemas que no se caracterizaron usan agua del tanque elevado auxiliar, el cual presentan valores fisicoquímicos bajos, y que, entonces, provocarían que los parámetros dentro del tanque fueran aún menores, haciendo más apta su recirculación.

Otra cuestión que considerar es que la caracterización de los efluentes no se realizó en conjunto con la medición de caudal, además de que el tiempo de análisis no abarcó todo el lapso de operación de la planta, omitiendo la época seca y de lluvia, en dónde las propiedades del agua deben cambiar en consecuencia a los cambios climáticos, puesto que las fuentes de agua son de ríos y pozos subterráneos. Sin embargo, los datos obtenidos, a pesar de que no son representativos estadísticamente del total de efluentes, sí representar valores típicos del agua a la salida de los equipos y ofrecen un panorama general de la calidad del agua en las áreas de calderas y cogeneración.

Para reducir la gran cantidad de tuberías que se dispone para el enfriamiento en paralelo de los distintos puntos en ciertos equipos, como las bombas de inyección de agua a calderas, se realiza la propuesta de enfriar en serie las diferentes ubicaciones, logrando un proceso más eficiente en cuanto al caudal a emplear y facilidad en el mantenimiento, ya que se dispondrá de una única línea en lugar varias. Por motivos de distancia entre sí, que podría afectar la movilización del personal, no se consideró unir los puntos de varias bombas en serie bajo una sola tubería.

Como se describe en el Cuadro 270 del apartado de anexos, las temperaturas de salida del agua, bajo la nueva propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados, es más elevada que la que se obtuvo bajo el arreglo actual. Por aspectos de mantenimiento de la bomba, es importante conocer la temperatura del fluido a bombear, puesto que su desempeño depende de dicho factor. A partir del análisis de calor sensible absorbido por el agua, se determina que la temperatura final del tanque es de 34.7 ± 0.5°C, solo tres grados Celsius mayor que si se continuara enfriamiento en paralelo. Se establece entonces que sí es factible la propuesta de enfriamiento en serie para los sistemas seleccionados, puesto que la temperatura de salida de los equipos no es considerablemente alta, y en caso de que ocurriese una elevación considerable, bastará con aumentar el flujo de agua.

Un aspecto importante que evaluar para la propuesta de enfriamiento son las recomendaciones del fabricante para las condiciones de operación de los equipos, puesto que pudiera ser que se especifique rangos de temperatura adecuados para el agua u otros aspectos que pudieron omitirse. Sin embargo, como se mencionó en varias visitas por el personal, las bombas y otros sistemas se encuentran modificados, por lo que su condición actual no es como se especifica por el proveedor o fabricante; por ende, lo adecuado es que se implemente la propuesta y mantener un monitoreo de la temperatura de salida regulando el caudal cuando sea requerido.

Conforme se recolecta agua a través de las líneas de distribución hacia el tanque receptor, el caudal irá aumentado y, por consiguiente, la velocidad a través de la tubería. Para mantener los valores de velocidad recomendados y descritos por (McCabe, Smith, & Harriot, 2007) en el Cuadro 6 en el apartado de marco teórico para flujo por gravedad, se propone ajustar el diámetro de la tubería para que la velocidad se mantenga en un rango no considerablemente mayor a 1 m/s; estos diámetros seleccionados y las velocidades correspondientes se muestran en el Cuadro 268 del apartado de anexos

Sin embargo, el valor de velocidad seleccionado difiere de la recomendación de 0.15 a 0.30 m/s que se muestra en la tabla; esta omisión se fundamente en que, para mantener el flujo dentro del rango, se requieren tuberías de diámetros muy grandes (pudiendo llegar hasta 8 pulgadas), las cuales son costosas. Entonces, se prefiere mantener un balance entre lo recomendado y los costos en los que se repercute. Se optó también por ir aumentando el diámetro de la tubería conforme fuese necesario, ya que instalar una única línea del diámetro mayor representaría mayores costos que iniciar con una de menor tamaño e ir aumentando.

En algunas situaciones, como en la distribución del agua de la planta de tratamiento y las bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo hacia la línea principal de recolección, es necesario realizar pequeñas excavaciones para formar un canal que permita conducir por gravedad el efluente. Esto aumenta los costos del circuito propuesto, los cuales se consideraron como un porcentaje adiciones al valor total de la inversión, como se detalla en el Cuadro 54 de la sección de resultados.

El motivo por el cual los efluentes de agua se captan y distribuyen por tuberías, en lugar del sistema de canales ya existente, se debe a que existen muchos contaminantes en el entorno que pudieran afectar en la calidad del agua, siendo el principal el bagacillo y otros sólidos. Por otra parte, de movilizarse por las canaletas, los efluentes de interés se mezclarían con el agua de lavado de gases de combustión, puesto que ambos comparten el mismo sistema de canales hacia la planta de tratamiento de cenizas.

El tanque receptor se dimensionó a partir del caudal máximo de entrada a recibir, como medida preventiva ante un aumento en el caudal resultante, y el tiempo de residencia del agua dentro de este. El tiempo de llenado del tanque es de 2.03 minutos, mientras que para vaciarse es de 2.81 minutos, esto considerando que se bombea un equivalente al caudal máximo de entrada, y que el efluente total de ingreso al tanque es el valor promedio registrado para los equipos, el cual se describe en el Cuadro 51 del apartado de resultados. Como medida adicional, se propone instalar dos interruptores de nivel para controlar de forma automática el arranque y apagado de la bomba cuando el tanque se encuentre lleno y vacío hasta ciertas alturas, respectivamente.

La base del tanque se constituye de un anillo de concreto con grava en su interior para reducir los costos de instalar un anillo de concreto sólido.

La ruta de la tubería de descarga de la bomba centrífuga hacia la conexión con la tubería de agua caliente que retorna a la torre de enfriamiento del bloque 1, se seleccionó al evaluar distintas propuestas, descartando aquellas en las que se incurriera en grandes distancias y cantidad de accesorios, además de que pudiesen afectar la circulación del personal o maquinaria. No se decidió movilizar la tubería a través del suelo mediante un canal hasta el punto final, lo cual hubiese reducido considerablemente la potencia que desarrollar y el costo de la bomba, porque existe mucho tránsito de maquinaria. Por ello, resulta conveniente elevar la tubería hasta la altura requerida y conducirla hasta el punto final, al igual que muchas de las tuberías existentes en el área.

Los diámetros de succión y descarga para la bomba se seleccionaron para mantener las velocidades dentro de los rangos recomendadas en el Cuadro 6 del apartado de marco teórico; de esta forma, se garantiza un mejor manejo y menor pérdidas por fricción a lo largo de la tubería.

Del total de los costos incurridos para la propuesta de recirculación, como se detallan en el Cuadro 54 en el apartado de resultados, se determina que la realización del tanque receptor implica el menor costo, mientras que los mayores costos se encuentran en la implementación del circuito de seguido de los accesorios y tubería requeridos para captar los efluentes de enfriamiento; esto se debe principalmente a las dos bombas requeridas (la segunda en caso de que la primera requiera mantenimiento).

De implementar la propuesta de recirculación de agua hacia la torre de enfriamiento del bloque 1, e implementando el enfriamiento en serie de los distintos puntos de los equipos seleccionados, se puede ingresar un caudal promedio total a la torre de 0.0129 ± 0.0008 m^3/s. De no implementar la propuesta de

enfriamiento en serie, el ingreso promedio a la torre de enfriamiento sería de 0.0238 ± 0.0013 m^3/s, lo cual representa 0.0109 ± 0.0014 m^3/s de agua adicionales.

En el caso de las purgas de las torres de enfriamiento no se considera viable el recircular dichos efluentes porque estos presentan altos valores de los parámetros fisicoquímicos, así como alto contenido de químicos comerciales que se emplean como fungicidas, reguladores de pH y anti incrustantes. Bajo estas condiciones, esta agua no es admisible dentro de algún proceso o sistema del ingenio debido a los inconvenientes que conlleva, sobre todo en términos de incrustaciones por la alta dureza y presencia de otros minerales. El planteamiento de sistemas de tratamiento para remover o reducir los parámetros hasta valores admisibles dentro de otro proceso o en la misma torre representaría una inversión muy elevado en términos de materia prima, equipos, sistemas, y edificación del área de tratamiento.

A pesar de lo importante del recurso hídrico, se considera que, por motivos de costos, las purgas de las torres deben ser empleadas en otras aplicaciones más factibles que invertir en una planta de tratamiento actualmente; estas aplicaciones deben tener la misma finalidad de reducir el consumo de agua de pozos, generando un mejor uso del agua. Dentro de las aplicaciones de las purgas se encuentra el lavado del suelo circundante a las torres, puesto que actualmente usan agua de los pozos, así como la compactación de la ceniza generada por la quema de carbón en la caldera 8 del área de cogeneración, ya que actualmente usan los efluentes del proceso de fábrica transportados en camiones para compactar las acumulaciones de ceniza y que no se dispersen por el viento. Un aspecto interesante que podría evaluarse a futuro es que, el agua excedente en la compactación de la ceniza recibe un tratamiento para que pueda ser regresada al río bajo condiciones adecuadas. Entonces, podría ser factible proponer que esta misma agua trata se vuelva a utilizar para la compactación de la ceniza y solo reponer cuando se requiera.

E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A”

Para garantizar el funcionamiento de los equipos ubicados en el tándem “A” de molinos se hace uso de agua para enfriar los diferentes sistemas que así lo requiera. Por ejemplo, el aceite usado para mantener el funcionamiento de los reductores de velocidad y planetarios de cada molino del tándem “A” es enfriado con intercambiadores de calor, con el fin de que el mismo conserve las propiedades que le dan fluidez. Para que los intercambiadores cumplan con su función, se requiere el uso de distintos flujos de agua en sus sistemas. En esta área se clasificó los efluentes según su lugar de proveniencia:

- Reductores de alta, media y baja
- Chumaceras lado corona y chumaceras lado espiga
- Reductores planetarios.

Para los reductores planetarios de los molinos 1 al 6 y reductores de velocidad del molino 6 se hace uso de agua de pozos, mientras que para el enfriamiento de las chumaceras y reductores de velocidad de molino 1 al 5 se hace uso de agua de río Provincias. Según el análisis realizado, se estimó que en promedio se emplean 2,971 m^3/día de agua en esta área, de los cuales 2,082 m^3/día (70%) provienen del Río y 889 m^3/día proviene de agua de pozos (30%).

Los efluentes de los diferentes sistemas de cada molino son recolectados en tuberías de acero al carbón y son enviados a un tanque de recepción específico para aguas del tándem “A”, que se encuentra ubicado en el primer nivel de esta área. Se observó que, del agua total, únicamente 2,382 m^3/día se recolectan en dicho tanque, esto debido a que en el área de chumaceras existe una pérdida directa de 589 m^3/día de agua. El resto del agua se recolecta en el tanque y únicamente a un promedio de 829 m^3/día tienen un segundo uso en el área de patio de caña “A” en donde es utilizado para enfriamiento también. El agua que no se envía a patio de caña, se desecha directamente a una zanja.

Al agua que es desechada directamente (en promedio 1,554 m^3/día) se le realizó un análisis de dureza, pH, conductividad, salinidad y sólidos suspendidos para determinar si está en condiciones para un segundo uso. Se determinó que, con respecto a las propiedades de las fuentes de agua, la temperatura aumenta en un 33.5% con respecto a la de entrada; mientras que las variaciones de pH, conductividad, salinidad y dureza no variaron más allá del 10%, estos porcentajes de variación de propiedades son causados por la corrosión presente en las tuberías por donde se transporta el fluido y con estos valores no se sobrepasa el rango permisible por la torre, esto no es un riesgo para la torre de enfriamiento.

Los resultados de las propiedades medidas se presentan en el Cuadro 56, se compararon con los parámetros permisibles para una torre de enfriamiento, debido a que la propuesta para recuperar el agua consiste en recolectar el agua de diversos sectores y enviarla a uno de estos equipos en general para que luego el agua tratada ingrese de nuevo al proceso. Todas las propiedades analizadas cumplen con los

parámetros requeridos para ser usados en la torre de enfriamiento, por lo que es posible realizar esta operación (resultados mostrados en el Cuadro 56).

El flujo de agua adicional que se emplea para enfriar las chumaceras se debe a que las mazas superiores e inferiores no pueden usar una sola pieza ajustada al muñón, en estos se usan dos tejas de bronces unidas, lo cual permite una partición y holgura de estas y da paso al ingreso de contaminantes que deterioran la película del lubricante generando altas temperaturas y rayaduras en las superficies del muñón y de la chumacera. La alta temperatura afecta directamente al rendimiento del equipo, por lo que esta se debe de disminuir rápidamente y para lograrlo se emplea el uso de agua como medio de enfriamiento externo, durante el análisis realizado en el periodo de zafra 2017-2018, se determinó que se usa agua a una razón de 0.00676 m^3/s (589 m^3/día) en esta área, esta agua a simple vista es no recuperable puesto que está en contacto con la grasa y el aceite de las chumaceras

Debido a la cantidad de agua que se emplea para enfriar los diferentes equipos, se realizó un análisis de grasas y aceites con el fin determinar si había presencia o no de estos contaminantes que afectaran la decisión de recuperar o no el agua. El análisis de los viales con muestra mostró que no había presencia de grasas y aceites. Sin embargo, con las visitas realizadas se pudo observar que el agua estaba en contacto con el lubricante de las chumaceras, lo cual indica que hay una posibilidad de que este contaminante se quede en el agua

El agua que se desecha de manera directa del tanque recolector del área del tándem "A", en promedio 1,554 m^3/día son recuperables, por lo que se debería instalar un sistema de bombeo que lleve esta cantidad de agua a unirse con otros efluentes provenientes de fábrica y patio de caña para lograr reducir la temperatura y que esta agua ingrese de nuevo a los sistemas de enfriamiento.

Para lograr esta recuperación de agua, se propuso el sistema de la Figura 95 y, para ello se requieren de 64 m de tuberías de acero al carbón de un diámetro nominal de 0.1524 m (6 in) Se seleccionó este material ya que las tuberías que transportan fluido actualmente en el ingenio son de este tipo y para evitar el cambio total de tuberías se usó el de hierro al carbón, con esto se reduce el riesgo de formación de corrosión por dos metales distintos. De acuerdo con el trayecto, los codos de 90° y válvulas de compuerta, cheque y globo a instalar se determinó que se requiere de una carga dinámica total de 7.3 m para un caudal de 80 m^3/h. De acuerdo con esta información se cotizó una bomba y se seleccionó una *Gould Pump modelo 3196* 3x4-8 MTi de acero al carbono de 5 hp. Para el área de succión de la bomba se instalaría una reducción excéntrica de 6x3'' para evitar la formación de bolsas de aire que provoquen el descebamiento hidráulico de la bomba, estas son usadas para que produzcan una mejor conversión de la velocidad y con ello reducir pérdidas hidráulicas. En el lado de la succión de la bomba, se instalaría una válvula de compuerta para aislar la bomba en caso de fallo o mantenimiento, luego se instalará una válvula de cheque para que la bomba permanezca cebada y protegerla de daños en el sello causados por un flujo contrario. También se instalaría un manómetro tipo Bourdon para determinar si hay flujo a la bomba, de no haber flujo se debe de apagar el equipo para evitar la cavitación y deterioro de este.

Para la descarga de la bomba, se instalaría una válvula de cheque para evitar que el fluido regrese y dañe el equipo y por último una válvula de globo cuya función será regular el flujo de ingreso al tanque general y un manómetro tipo Bourdon que se instalaría directamente en el equipo y ayudaría a obtener información de la capacidad de la bomba.

Según lo observado, existe una segunda ruta para recuperar el agua. Esta consiste en colocar la tubería de manera subterránea. Se calculó la cabeza dinámica total al igual que para la propuesta 1 y se determinó que esta tendría que tener un valor de 6.6 m. Al comparar ambas cargas se encontró una diferencia de 0.7 m pero la bomba es la misma para ambos circuitos. Se analizó los costos de inversión de ambos circuitos y se determinó que enviando la tubería de manera aérea es más económico que realizar un zanjeo, en base a esto se tomó la decisión definitiva.

De las dos propuestas planteadas, se eligió la primera. En esta, las tuberías se colocarían en soportes aéreos hasta llegar al tanque recolector de aguas totales. El monto para esta propuesta que incluye equipo y accesorios asciende a Q 140,345.98, con esta información y en base a factores (del libro de Perry, 1997), se obtuvo el costo para la instalación, para ello se consideró un 20% para la instalación de tuberías, equipos, entre otros; un 7% para la instalación eléctrica de bombas; un 2% de instalación de instrumentos, tales como manómetros y un 5% de contingencia. El monto total resultó ser de Q43,236.22, de igual manera se calculó los costos de instalación para la propuesta 2 y se obtuvo una diferencia de Q65,419.20. La bomba cotizada para la propuesta 2 es más costosa que la bomba de la propuesta 1, con esta información y con la diferencia de costos de instalación se eligió la propuesta vía aérea.

Para los costos de mantenimiento de los equipos propuestos para el sistema de recirculación del módulo, se estimó que estos serían un 6% del costo total de equipo (Perry, 1997). Se obtuvo que para la propuesta 1, los costos de mantenimiento serían alrededor de Q11,014.93 para una zafra. Este tipo de mantenimiento se recomienda hacerlo antes de iniciar la zafra y otro al finalizar, con esto se prevé las fallas manteniendo los equipos en completa operación a niveles y eficiencias altos.

Así como se planteó los costos de inversión para el módulo, se analizó los costos de instalación para la propuesta general, la cual incluye los efluentes de patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración.

En el período de zafra 2017-2018, en el ingenio se hizo uso de 14,652 m^3/día de agua de los cuales 9,332 m^3/día eran de agua de pozo y 5,320 m^3/día de agua del río. Esto se obtuvo, a través de 3 sistemas de bombeo diferente (el del pozo del hotel, el del pozo No.4 y el de parábolas). Con el consumo de potencia se estimó los costos de operación durante una zafra junto con un porcentaje de imprevistos como lo mostrado en el cuadro 81 y se consideró los costos de mantenimiento proporcionados por el ingenio, se obtuvo que el precio de bombeo de agua es de Q599,076.11 para una zafra, lo que equivale a Q0.29/m^3. El agua en Guatemala no tiene ningún costo, únicamente se consideran los del transporte.

Según la Constitución del país, todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles y su aprovechamiento, uso y goce se otorgan de acuerdo con el interés social. Debido a la

falta de legislación que regule el uso, conservación y sancione la contaminación del agua, se ha visto que el recurso está siento utilizado de manera desordenada, esto afecta de manera directa el ambiente y atenta contra la seguridad alimentaria de quienes dependen de la pesca y agricultura, principalmente. Debido a estos conflictos, se prevé que un futuro el agua no sea de dominio público y que su costo de extracción se eleve significativamente, siendo este un factor que afectará la economía de las industrias dependientes de este recurso. Como manera de prevención, se estudia la implementación del concepto de economía circular del agua, con esto se espera que el agua mantenga su utilidad y valor en todo momento y ayude a reducir de manera significativa el consumo de agua proveniente de fuentes de dominio público y a minimizar riesgos de demandas o sanciones por el uso desmedido del agua.

Por todas estas circunstancias, se plantea una propuesta de recirculación con la que se estima recircular 661,892.8 m^3 de agua en un periodo de zafra. Para lograr esto, se requiere de la implementación de un circuito de tuberías, válvulas, accesorios, bombas e instrumentos para las áreas de molinos, patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración, como lo mostrado en sus respectivos módulos cada uno. Lo requerido para esta inversión se muestran en el Cuadro 60, siendo esto un total de Q2,243,674.38 con instalación incluida. Se estimó que los costos de operación y mantenimientos serían de Q197,489.77 para una zafra.

Con la cantidad de agua por recuperar y los costos de operación y mantenimiento del nuevo sistema, se calculó que el precio por metro cúbico de agua seria de Q0.22 y se lograría una disminución de 502,880 m^3/agua que con esto se reduce el impacto ambiental y social que genera los desvíos de ríos en el área de la costa sur de Guatemala. De esta manera, las medidas que se tomen hoy en día para reducir el consumo de agua impactarán de manera significativa la economía de la empresa en un futuro cercano, evitando un problema integral.

IX. CONCLUSIONES

- Con las mediciones de flujo volumétrico, temperatura, pH, conductividad, dureza total, sólidos suspendidos, grasas y aceites y salinidad de los efluentes del agua de enfriamiento en el tándem B de molinos, se obtuvieron rangos de caudal de 15.24 – 26.62 $x10^{-3}$ m^3/s; temperatura 22.3 – 36 °C; pH 7.74 – 8.45; dureza 98.2 – 133.9 ppm; conductividad 145.2 – 273 µS/cm; salinidad 66.5 – 124.0 ppm; sólidos suspendidos 2 – 5 ppm; grasas y aceites presentes en el agua de chumaceras para enfriar directamente los ejes de las mazas. Los efluentes cumplen con los rangos de los parámetros de una torre de enfriamiento de pH 6.5 – 9.2; Conductividad < 3,300 µS/cm; Dureza < 750 ppm; Salinidad < 300 ppm; Sólidos suspendidos < 25; Grasas y aceites sin presencia. Por lo tanto, todos los efluentes se integraron al sistema de recirculación a excepción de los efluentes con presencia de grasas y aceites.

- Se diseñó el sistema de tuberías y equipos que van de la torre de enfriamiento al tanque elevado de fábrica el cual posee una bomba centrífuga de 14.9 kW y un recorrido de tubería de 105 m con un flujo máximo de operación de 0.047 m^3/s. Al mismo tiempo, se diseñó el sistema de tuberías y equipos que van del tanque elevado a molinos, el cual distribuye por gravedad el agua a los equipos con un recorrido de tubería de 23.5 y un caudal máximo de operación de 0.067 m^3/s.

- La temperatura de entrada a la torre de enfriamiento sería de 37.5 °C, mientras que los parámetros de dureza, conductividad, pH, y salinidad serán de 140.84 ppm, 303.40 µs/cm, 9.67, 138.97 ppm respectivamente, con una compensación de agua de 22.7 $x10^{-3}$ m^3/s (360 gpm) tomando en cuenta las pérdidas en las chumaceras de los molinos de ambos tándems y las pérdidas por evaporación y arrastre.

- La inversión inicial del sistema de recirculación en el área de molinos tándem B sería de Q18,032.99, con un costo total de mantenimiento y operación durante una zafra de Q845.30, mientras que la inversión del circuito de recirculación desde la torre de enfriamiento propuesta al tanque elevado sería de Q278,331.48, con un costo total de mantenimiento y operación durante una zafra de Q55,013.36. Con este sistema se ahorraría la extracción de 841.9 m^3/día en el área de molinos.

- Los niveles de temperatura, caudal, pH, conductividad, dureza, sólidos suspendidos, grasas y aceites y salinidad de los efluentes del agua de enfriamiento en patio de caña cumplen con los límites permisibles para la operación de torres de enfriamiento, por lo que serán integrados a un sistema de recirculación.

- El virador A utiliza 0.7-1.2 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.1-8.2, conductividad de 208.7-224.3 µS/cm, dureza de 125.0 ppm, salinidad de 95.9-106.6 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 5.6 ppm y una temperatura de salida de 29.0-37.0 ºC.

- El reductor de la pre-cuchilla A utiliza 1.8-2.4 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.2-8.5, conductividad de 206.3-231.7 µS/cm, dureza de 121.7-125.5 ppm, salinidad de 95.4-105.5 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 6.0 ppm y una temperatura de salida de 30.0-33.0 ºC.

- El reductor de la picadora A utiliza 1.6-2.0 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.2-8.4, conductividad de 204.2-236.8 µS/cm, dureza de 123.9-125.1 ppm, salinidad de 94.9-107.9 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 8.0 ppm y una temperatura de salida de 29.5-33.0 ºC.

- Los rodamientos de la troceadora, picadora y pre-cuchilla A utilizan 2.0-2.4 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.2-8.5, conductividad de 210.9-232.1 µS/cm, dureza de 123.9-125.1 ppm, salinidad de 97.4-106.3 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 4.5 ppm y una temperatura de salida de 29.0-32.0 ºC.

- Los rodamientos de desfibradora A utilizan 1.1-1.6 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.2-8.3, conductividad de 210.9-232.1 µS/cm, dureza de 123.9-125.1 ppm, salinidad de 96.8-106.4 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 7.3 ppm y una temperatura de salida de 30.0-32.0 ºC.

- El reductor de la desfibradora A utiliza 0.7-1.5 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.2, conductividad de 191.4-214.4 µS/cm, dureza de 119.7-131.1 ppm, salinidad de 88.1-96.2 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 5.0 ppm y una temperatura de salida de 30.0-32.0 ºC.

- El virador B utiliza 0.5-0.6 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.3-8.4, conductividad de 174.4-213.8 µS/cm, dureza de 115.1-121.4 ppm, salinidad de 81.1-97.6 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 1.2 ppm y una temperatura de salida de 27.0-39.0 ºC.

- El reductor de la pre-cuchilla B utiliza 0.9-1.6 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.3-8.5, conductividad de 173.6-212.7 µS/cm, dureza de 115.3-120.3 ppm, salinidad de 79.3-97.8 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 18.0 ppm y una temperatura de salida de 27.0-30.0 ºC.

- El reductor de la picadora B utiliza 1.2-2.8 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.3-8.5, conductividad de 173.2-214.0 µS/cm, dureza de 118.3-120.8 ppm, salinidad de 78.5-98.4 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 9.0 ppm y una temperatura de salida de 26.0-31.0 ºC.

- Los rodamientos de la troceadora, picadora y pre-cuchilla B utilizan 0.4-0.8 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.3-8.4, conductividad de 173.6-213.9 µS/cm, dureza de 115.1-121.4 ppm, salinidad de 79.4-98.4 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 2.7 ppm y una temperatura de salida de 26.0-29.0 ºC.

- El reductor de la desfibradora B utiliza 0.9-2.0 (10^{-3}) m^3/s de agua para enfriamiento, la cual tiene un pH de 8.3-8.4, conductividad de 174.8-212.5 µS/cm, dureza de 115.3-120.3 ppm, salinidad de 79.6-97.5 ppm, concentración de sólidos suspendidos de 5.3 ppm y una temperatura de salida de 27.0-28.0 ºC.

- Se propuso un sistema de tuberías para transportar los efluentes de enfriamiento desde el patio de caña Tándem "A" hacia un tanque de recirculación general, utilizando una bomba centrífuga 2x3-6 de 1.5 kW.

- Se propuso un sistema de tuberías para transportar los efluentes de enfriamiento desde el patio de caña Tándem "B" hacia un tanque de recirculación general, utilizando una bomba centrífuga 1.5x3-8 de 1.3 kW.

- Se diseñó tres tanques de agua en el sistema, con capacidades de 5.0 m^3, 1.0 m^3 y 0.6 m^3 para el tanque general, el tanque del Tándem A y el tanque del Tándem B, respectivamente.

- La inversión requerida para adquirir las tuberías, equipos y accesorios propuestos en el módulo de patio de caña es de Q 218,350.

- A partir de la evaluación de flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas se determinó que en el efluente de bombas de vacío, el flujo volumétrico varía en un rango de 2.37-3.84 m3/h; la temperatura en 40.4 - 44.0°C; el pH en 8.3-8.5; la conductividad en 210.7-226.3 µS/cm; la salinidad en 97.9-101.5 ppm; la dureza en 119.1-146.9 ppm; los sólidos suspendidos en 23.9-24.3 ppm y se determinó que no hay presencia azúcar, grasas y aceites. Los rangos obtenidos cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento, es por ello, que este efluente se incorporó al sistema de recirculación propuesto para fábrica.

- A partir de la evaluación de flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas se determinó que en el efluente de cristalizadores de masa tercera, el flujo volumétrico varía en un rango de 2.39-3.67 m3/h; la temperatura en 34.4 – 38.4°C; el pH en 7.6-8.2; la conductividad en 169.5-229.8 µS/cm; la salinidad en 80.2-101.5 ppm; la dureza en 124.6 -127.1 ppm; los sólidos suspendidos en 25.5-25.7 ppm y se determinó que no hay presencia azúcar, grasas y aceites. Los rangos obtenidos cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento, es por ello, que este efluente se incorporó al sistema de recirculación propuesto para fábrica.

- A partir de la evaluación de flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas se determinó que en el efluente de centrífugas modelo G8, el flujo volumétrico varía en un rango de 0.23 – 0.39 m3/h; la temperatura en 48.8 – 54.0°C; el pH en 8.7 - 8.8; la conductividad en 315.8- 317.2 µS/cm; la dureza en 140.6-143.2 ppm; los sólidos suspendidos en 17.6-17.8 ppm; para la salinidad se obtuvo un valor de 146 ppm y se determinó que no hay presencia azúcar, grasas y aceites. Los rangos obtenidos cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento, es por ello, que este efluente se incorporó al sistema de recirculación propuesto para fábrica.

- A partir de la evaluación de flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas se determinó que en el efluente de bombas de transferencia, meladura y de vacío, el flujo volumétrico varía en un rango de 2.87 – 4.58 m3/h; la temperatura en 33.9 – 37.4 0°C; el pH en 6.8 – 7.7; la conductividad en 282.7- 298.3 µS/cm; la dureza en 118.1-151.7 ppm; los sólidos suspendidos en 7.5-7.6 ppm; la salinidad en 131.2-136.8 ppm y se determinó que no hay presencia azúcar, grasas y aceites. Los rangos obtenidos cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento, es por ello, que este efluente se incorporó al sistema de recirculación propuesto para fábrica.

- A partir de la evaluación de flujo volumétrico, propiedades físicas y químicas se determinó que en el efluente de hidrolavadora, el flujo volumétrico varía en un rango de 0.81 – 4.57 m3/h, la temperatura en 31.6 – 43.4 0°C, los sólidos suspendidos en 13.4-13.6 ppm. Para la conductividad se obtuvo un valor de 312 µS/cm; para la dureza un valor de 151.7 ppm; para la salinidad un valor de 144 ppm; para el pH un valor de 8.7 y se determinó que no hay presencia azúcar, grasas y aceites. Los rangos obtenidos cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento, es por ello, que este efluente se incorporó al sistema de recirculación propuesto para fábrica.

- El efluente de bombas de transferencia de evaporados no se integró al sistema de recirculación debido a que el flujo volumétrico se encuentra entre 0.05 – 0.16 m3/h, este rango de valores se considera pequeño como para invertir en las tuberías y accesorios necesarios e integrarlo al sistema de recirculación de fábrica.

- El efluente generado en la limpieza de bandejas de cristalizadores no se integró al sistema propuesto, ya que este se eliminará realizando la limpieza de bandejas en seco.

- El agua utilizada para la limpieza de las bandas transportadoras de cachaza no se incluyó en el sistema de recirculación, debido a que se obtuvo que el rango de dureza varia en 123 - 417 ppm; los sólidos suspendidos en 15,196.8 – 25,328.1 ppm y se determinó presencia de azúcar. Estos rangos no cumplen con los parámetros del agua de circulación en torres de enfriamiento.

- Se determinó que la concentración de azúcar en el efluente de bombas de refinería varía entre 5070 – 145,626 ppm, esto favorece los procesos microbiológicos y corrosivos, por lo cual no se integró en el sistema de recirculación propuesto.

- Se realizó una propuesta para recircular los efluentes de hidrolavadora, sistemas de enfriamiento de bombas de vacío, bombas de transferencia y meladura, cristalizadores de masa tercera y centrífuga G8, hacia un tanque colector general. La propuesta permite la recuperación de 18.90 m3/h, lo cual representa un ahorro del 34.32% del agua utilizada para enfriamiento y limpieza de equipos en fábrica, y requiere de una inversión de Q166, 264.85.

- La torre de enfriamiento diseñada tiene una capacidad de 371.64 toneladas de refrigeración, disminuyendo la temperatura del agua que ingresa a 37.5 °C a 31.0 °C, con un flujo de circulación de agua de 172 m3/h y un flujo de aire requerido de 161, 121.95 m3/h. Para ello, la altura de relleno es de 4.00 m, la altura total es de 5.40 m y se requiere de una inversión de Q572, 131.88.

- Para los equipos del área de calderas y cogeneración cuya fuente de agua es el tanque elevado auxiliar (excluyendo las torres de enfriamiento del bloque 1 y 2; véase el Cuadro 17 en la sección de antecedentes), la temperatura varía en un rango de 24.0 a 38.0 °C, el pH entre 7.46 y 8.52, la dureza entre 105.315 y 185.64 ppm de $CaCO_3$, la conductividad entre 219 y 396 µS/cm, la salinidad entre 100 y 188 ppm, la densidad entre 995.3760 y 997.6880 kg/m^3, los sólidos suspendidos entre 0.0013 y 0.0122 kg/m^3 y la viscosidad cinemática entre 1.037 y 1.084 cSt.

- Para los equipos del área de calderas y cogeneración cuya fuente de agua es la torre de enfriamiento del bloque 1 (véase el Cuadro 17 en la sección de antecedentes), la temperatura varía en un rango de 27.0 a 43.0 °C, el pH entre 8.80 y 8.93, la dureza entre 324.87 y 468.56 ppm de $CaCO_3$, la conductividad entre 660 y 820 µS/cm, la salinidad entre 318 y 389 ppm, la densidad entre 996.8120 y 998.0680 kg/m^3, los sólidos suspendidos entre 0.0140 y 1.078 kg/m^3 y la viscosidad cinemática entre 1.037 y 1.084 cSt.

- Para los equipos analizados dentro del área de calderas y cogeneración (véase el Cuadro 16 en el apartado de antecedentes) se dispone de un consumo promedio de 2573 metros cúbicos de agua por día, lo cual representa el 17.56% del consumo promedio de 14,652.49 metros cúbicos por día para uso general del ingenio y provenientes del tanque elevado y río Provincias durante el período de zafra 2017-2018.

- Al implementar la propuesta de enfriamiento en serie para el arreglo de enfriamiento de las bombas de inyección de agua a calderas, ventiladores inducidos de la caldera 5 y unidades hidráulicas de los turbogeneradores TRONA y Condensing durante el período de zafra 2017-2018, y para condiciones de flujo promedio (véase el Cuadro 265 y Cuadro 266 en la sección de anexos), se tiene de un ahorro promedio de agua de 939 metros cúbicos de agua por día de zafra.

- Los valores de pH, dureza, conductividad, salinidad y sólidos suspendidos obtenidos son considerablemente mayores para los equipos que usan agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento del bloque 1 respecto de aquellos que usan agua proveniente del tanque elevado auxiliar, esto debido a las condiciones de operación de la torre y diferencia en la calidad del agua de ambas fuentes del recurso.

- A partir de los análisis fisicoquímicos realizados para los equipos, se determinó que, bajo propuesta de enfriamiento en serie de equipos seleccionados dentro del área de calderas y cogeneración, se determina que la temperatura de la mezcla de efluentes dentro del tanque recolector será de 34.7 ± 0.5 °C, el pH de 7.90 ± 0.57, la dureza de 219.489 ± 27.734 ppm $CaCO_3$, la salinidad de 198.18 ± 22.51 ppm y los sólidos suspendidos de 0.0091 ± 0.0048 kg/m^3.

- Se determinó que, a partir de los análisis fisicoquímicos realizados y las condiciones del tanque receptor, la mezcla de efluentes dentro del tanque sí es apta para su admisión dentro de la torre de enfriamiento del bloque 1 puesto que sí cumplen con los rangos de operación de esta (véase el Cuadro 22 en el apartado de antecedentes).

- El costo total estimado de la propuesta de recirculación es de Q298,326.81, considerando la recolección de los efluentes por tuberías y accesorios, el tanque receptor, el bombeo hasta el punto final, un 15% del total para mano de obra y excavación y un 10% de contingencia por algún inconveniente que pudiera presentarse.

- No se plantea la recirculación de los efluentes de agua de purgado de las torres de enfriamiento por los parámetros fisicoquímicos elevados (véase Cuadro 53 en la sección de resultados) y que no la hacen admisible dentro de otros procesos que requieren agua limpia, resultando más conveniente su uso para otras cuestiones que reduzcan el consumo de agua de pozos.

- El tándem "A" usa en promedio 2,971 m^3/día de agua para los diferentes sistemas de enfriamiento, los cuales se recolectan en su mayoría, integrados de la siguiente manera: 829 m^3/día son enviados a patio de caña "A", 589 m^3/día son desechados directamente en el área de chumaceras y el resto, 1,554 m^3/día, está disponible para recuperar (actualmente se descartan directamente al suelo)

- Con los análisis realizados, se determinó que el pH varía en un rango de 8.19-8.41; la conductividad en 196.45 – 213.95 µs/cm; la salinidad en 89.98 – 99.22 ppm; la dureza en 113.08 – 124.12 ppm; los sólidos suspendidos en 14.68 – 30.38 ppm y se determinó que no hay presencia de grasas y aceites en el agua por recuperar.

- Según la propuesta de recirculación, para transportar el efluente al tanque recolector general se requiere de una bomba 3x4-8 de 2.8 kW, de válvulas de cheque, compuerta y globo para evitar el descebamiento de la bomba.

- El circuito propuesto de recirculación para recuperar 1,554 m3/día de agua del tándem "A" de molinos tiene una inversión de Q183,582.20, un costo de operación de Q7,666.99 y un costo de mantenimiento de Q11,014.93, estos dos últimos para cada zafra.

- La inversión global por compra de bombas, accesorios, válvulas, tuberías y torre de enfriamiento es de Q1,844,573.95, con un costo de instalación de Q399,100.43 y un costo de operación y mantenimiento para una zafra de Q197,489.77 con esto se espera recircular 3,143 m^3/día de agua y disminuir en 21.45% el consumo de agua proveniente del río y de pozos.

X. RECOMENDACIONES

- Monitorear los parámetros de pH, conductividad, cloruros, sílice, hierro, dureza de calcio, alcalinidad, sólidos totales disueltos y temperatura de las fuentes de agua y de los efluentes de agua de enfriamiento, para determinar el comportamiento real de los parámetros fisicoquímicos, al iniciar el proceso de molienda y al finalizar; también en condiciones normales de operación; en aumentos de la molienda; en la época de lluvia y en la época de verano. Esto con el fin de generar históricos de los parámetros del agua utilizada en los sistemas de enfriamiento y tener una base para escoger la fuente de la que se extraerá agua.

- Realizar un balance de energía en las chumaceras de los molinos tomando en cuenta la temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento, y la temperatura de operación del lubricante. Con la información obtenida del balance se debe corroborar si las chumaceras no extraen el calor suficiente para mantener una temperatura de operación establece en los ejes de las mazas. Si no extraen el calor suficiente se debe realizar un cambio de las chumaceras actuales. En caso si sea suficiente el calor extraído en las chumaceras, se deberá dejar de desviar el flujo de agua que sale de las chumaceras para enfriar el eje de las mazas.

- Instalar medidores de orificio con su respectivo transmisor para medir el flujo de agua en las tuberías generales que alimentan a las chumaceras, reductores y a la unidad hidráulica. Esto permitirá generar históricos del consumo de agua en los equipos de enfriamiento, y también permitirá realizar un balance general con mayor exactitud.

- Determinar el flujo y temperaturas de agua reales que se requieren en los intercambiadores de calor, para asegurar un enfriamiento del lubricante.

- Evaluar si la potencia de la bomba que abastece a patio de caña desde molinos es suficiente para impulsar los efluentes directamente al tanque de recirculación general.

- Realizar una corrección de la red de tuberías actual que alimenta a los intercambiadores del patio de caña, especialmente los tramos de tubería que están abiertos a la atmósfera, ya que se pierde por completo la presión entregada por la bomba.

- Utilizar únicamente agua de pozos como agua de compensación al sistema, utilizando un tratamiento ablandador preventivo.

- Considerar la inversión en medidores de flujo, temperatura y otros equipos de control que permitan evaluar el desempeño del sistema de enfriamiento de los intercambiadores.

- Realizar la evaluación de propiedades físicas y químicas de los efluentes de patio de caña en el transcurso de toda una zafra, para poder realizar comparaciones en los diferentes días.

- Realizar el análisis de caudal, propiedades físicas y químicas de los efluentes de fábrica, durante todos los meses de zafra a distintas horas del día, para generar valores que sean representativos para las condiciones de operación y construir un registro de datos para futuros proyectos o consultas.

- Realizar análisis diarios durante un periodo de zafra de las propiedades físicas y químicas de los efluentes de fábrica y de las fuentes de suministro de agua, para determinar cómo varían las características del agua en los sistemas de tuberías y posterior a su uso en equipos.

- En caso no se pueda solucionar en la operación el flujo de agua que se genera en los turbogeneradores, se debe considerar su incorporación en el circuito de enfriamiento de fábrica, ya que los valores obtenidos se encuentran entre 21.0 – 22.1 m^3/h.

- Realizar una evaluación económica para determinar la utilización de hierro galvanizado como material de construcción en las redes de distribución de agua del ingenio.

- Analizar la posibilidad de utilizar los efluentes de fábrica, como agua de compensación de una de las torres de enfriamiento instalada, si en caso se desea reducir los costos de inversión del sistema general propuesto.

- Monitorear constantemente las propiedades de las fuentes y efluentes de agua de enfriamiento y purgado de todos los equipos analizados en el área de calderas y cogeneración, siguiendo la metodología descrita en el apartado de metodología o mediante otros métodos estandarizados, y para determinar el comportamiento real de los parámetros fisicoquímicos durante todo el período

de zafra, abarcando las condiciones normales de operación, distintas horas del día, aumentos y bajas en producción y en época seca y lluviosa.

- Determinar el caudal de los efluentes de enfriamiento de la bomba hidráulica 5 del conductor de retorno de bagazo y el tomamuestra de vapor de la caldera 4, dentro del área de calderas y cogeneración, porque que solo se cuenta con valores estimados, esto debido a que el primero no se pudo determinar durante el período de operación de la zafra y el segundo no contaba con suministro de agua desde el tanque elevado auxiliar.

- Monitorear constantemente de la temperatura de los efluentes a la salida de los equipos del área de calderas y cogeneración con el fin regular el caudal de enfriamiento y asegurar que se trabaje bajo condiciones adecuadas de operación.

- Considerar la posibilidad de dirigir los efluentes de enfriamiento de los ventiladores inducidos de la caldera 5, turbogeneradores TRONA y Condensing, y tomamuestras de vapor y domo de las calderas 5 y 6, ubicados en el área de calderas y cogeneración, directamente hacia la tubería de retorno del agua de enfriamiento de los equipos de cogeneración que se une a la tubería de retorno de agua caliente hacia la torre de enfriamiento del bloque 1. A partir de esto, se pueden reducir los costos del sistema de recirculación propuesto al disminuir la cantidad de material requerido.

- Considerar el uso del agua de purgado de las torres de enfriamiento del área de calderas y cogeneración para el lavado del suelo circundante y así reducir el consumo de agua del tanque elevado auxiliar que se usa actualmente. Para ello se debe evaluar mediante análisis fisicoquímicos estandarizados que las propiedades del agua no sean dañinas para el personal del ingenio.

- Evaluar el uso del agua de purgado de las torres de enfriamiento del área de calderas y cogeneración para su uso en la compactación de las acumulaciones de ceniza producto de la quema de carbón en la caldera 8 del área de cogeneración, considerando recircular dentro del mismo proceso el agua tratada que se obtiene a la salida del proceso de tratamiento que se le realiza al agua excedente que pasa a través de la ceniza con distintos contaminantes.

- Realizar un análisis de agua para determinar presencia de grasas y aceites en el agua que se usa como medio de enfriamiento externo en el área de las chumaceras lado corona y lado espiga.

- Para optar por una instalación de tuberías de manera subterránea, se debe de considerar un análisis más a detalle sobre los costos de mano para realizar el zanjeo e instalación.

- Para la instalación del circuito de recirculación completo que incluye las áreas de molinos, patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración, se recomienda que se evalúe nuevamente los costos de instalación, estos pueden variar según la disponibilidad de accesorios y mano de obra con los que el ingenio cuente.

- Para reducir costos de inversión en el sistema total, se recomienda analizar la posibilidad de enviar los efluentes por recuperar a una de las torres ya instaladas en el ingenio.

- Realizar un análisis de presencia de grasas y aceites, con el método de Soxhlet, en el agua de enfriamiento de las chumaceras para recuperar 587 m^3/días adicionales de agua.

- El ingenio deberá usar sus datos confidenciales de costos para seleccionar la vía a utilizar para instalar aérea o subterráneamente el sistema de recirculación.

- Evaluar los costos de instalación, usando los datos confidenciales del ingenio, para determinar la factibilidad de la implementación del circuito completo de recirculación (incluye áreas de molinos, patio de caña, fábrica, calderas y cogeneración).

- En el caso que el ingenio no esté dispuesto a invertir en una nueva torre de enfriamiento, analizar la posibilidad de enviar los efluentes por recuperar a una de las torres ya instaladas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Alderetes, C. O. (2016). *Calderas de Bagazo*. Proyecto, operación y mantenimiento. Recuperado el 8 de Octubre de 2018, de http://www1.herrera.unt.edu.ar/biblcet/wp-content/uploads/2016/08/Calderas-a-Bagazo.pdf
- American Water Works Association. 1997. AWWA *Standard for Welded Steel Tanks for Water Storage. American National Standard*. 140 pp.
- American Water Works Association. 2013. *Steel Water-Storage Tanks*. AWWA Manual of Water Supply Practices, M42. 147 pp.
- Apaza, José. s.f. *Diseño y construcción de una torre de enfriamiento de tiro forzado para la industria Plastic Metal*. Tesis Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 153 págs.
- ASHM. (19 de Enero de 2015). *¿Cómo Funciona Un Sistema Hidráulico Simple?* Obtenido de Aceros y Sistemas Hidráulicos de México (ASHM): http://www.ashm.mx/blog/como-funciona-un-sistema-hidraulico-simple/
- Ayala, Amílcar. 2012. *Calificación del desempeño de un filtro de banda para maximizar la recuperación de sacarosa en la cachaza*. Tesis Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 113 págs.
- Balla Hatim, W., Rabah, A. A., & Abdalla, B. K. (Marzo de 2017). *Water Integration In Sugar Industry. International Journal of Scientific & Technology Research*, VI(3), 43-45.
- Baltimore Aircoil Company. *Torres de enfriamiento de circuito cerrado: instrucciones de mantenimiento y funcionamiento*. En: http://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/BAC_Mantenimiento-FXVS_MFXVSv04ES.pdf [6/10/18]
- Banco de Guatemala. 2018. *Guatemala en cifras 2018.* Guatemala. 71 págs.
- Betz. 1991. *Betz Handbook of Industrial Water Conditioning*. Betz Laboratories. 9a ed. 426 págs.
- Blair, G. et.al. 2002. *Guidelines for Managing Water in Cooling Systems*. San Jose/Santa Clara Water Pollution Control Plant. 41 págs.
- Branan, C. 2005. *Rules of Thumb for Chemical Engineers*. 4ª edición. El Sevier. 492 pp.
- Brentwood Industries, Inc. s.f. *How to select the proper nozzle and spacing*. Estados Unidos. 11 págs.
- Caterpillar. *Know Your Cooling System*. En: https://secure.hastdeer.com.au/hdsosweb/HDLabServices/pubs/KnowYourCoolingSystem.pdf [7/5/2018]

- Chang, R. (2010). *Química*. 10ª. Edición. México, D.F.: Mc Graw-Hill educación.
- Collazo, M. *Manual de agua subterránea.* http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/manual_de_agua_subterranea-ilovepdf-compressed.pdf [6/10/18]
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. 2000. *Evaluación de Recursos de Agua en Guatemala*. 106 pp.
- Dale, A; 2010. *Tips for Designing Sumps for Cooling Tower Applications*. Sumo Design Tips by Fluid Handling, Inc.
- De las Heras, S. 2011. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universidad Politécnica de Cataluña. Publicaciones Académicas UPC. 415 pp.
- Department of Environment and Conservation of Newfoundland & Labrador. 2011. *Evaluation of Potable Water Storage Tanks in Newfoundland and Labrador*. En: https://www.mae.gov.nl.ca/waterres/reports/drinking_water/Tank_Report_July_12_2011.pdf [7/5/2018]
- Deshmukh, G. 2017. *Water Conservation in Sugar Industry: A Case Study of Lokmangal Suga, Ethanol and Co-generation Industries LTD, Bhandarkavathe*. International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology, 4(8), 20 – 26.
- Estrada Juárez, C. A. (Febrero de 2011). *Manual de operación de un turbo tipo condensing ASEA STAL B-2340*. Tésis licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- FAG. *Lubricación de rodamientos*. En: http://www.rodaunion.es/media/imagenes/Catalogos/Rodamientos%20y%20accesorios/FAG/Lubricacion_Rodamientos_wl_81115_4_es_es.pdf [7/5/2018]
- Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). *Ecología de microorganismos*. Obtenido de Manual de laboratorio.
- García Garrido, S., & Fraile Chico, D. (2008). *Cogeneración: Diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneració*n. Ediciones Díaz de Santos.
- General Electric Company. 2012. *Water Sources, Impurities and Chemistry.* https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/Introduction/ch_1_sourcesimpurities.jsp [10/10/2018]
- Global Water Partnership Central America. 2015. *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Guatemala*. GWP. 47 pp.

- Gobierno de la República de Guatemala. (5 de Mayo de 2006). *Reglamento de las descargas y reuso de agua residuales y de la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Guatemala.
- Goulds Pumps. *Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento*. Model HT 3196 i-Frame.
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry´s Chemical Engineer´s Handbook* (Octava ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Grupo SKF. (2015). *Rodamientos*. Manual de Operación.
- Gunjal, B; y Gunjal, A. 2013. *Water Conservation in Sugar Industry*. Nature Environment and Pollution Technology, 12(2), 325 – 330.
- Gupta, M. 2012. *Power Plant Engineering*. New Delhi: PHI Learning Private Limited. 341 págs.
- Guyer, J. 2014. *An Introduction to Cooling Tower Water Treatment*. https://www.cedengineering.com/userfiles/Intro%20to%20Cooling%20Tower%20Water%20Treatment.pdf [15/10/2018]
- Hach Company. 2000. *Manual de análisis de agua*. 2ª ed. Estados Unidos. 220 págs.
- Hensley, J. 2009. *Cooling Tower Fundamentals*. SPX Cooling Technologies. 2da edición. USA. 117 págs.
- Hernández, Goríbar, E. (2009). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. México: Limusa.
- Hernández, H. y Espejo, E. 2002. *Mecánica de Fractura y Análisis de Falla*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 374 pp.
- Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering* (Tercera Ed). Amsterdam: Elsevier.
- IARNA. 2015. *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala*: Bases fundamentales para la gestión del agua con visión a largo plazo. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. 81 págs.
- IDEA. 2015. Guía técnica Circuitos de agua en instalaciones interiores Diseño e instalación. España: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 74 págs.
- INE. 2015. *República de Guatemala: Estadísticas demográcas y Vitales* 2014. Guatemala. 96 págs.
- Jiménez, B. 2013. *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos*. IC Editorial 340 pp.
- Kant, K; Mohiuddin A.K.M. 1996. *Knowledge base for the systematic design of wet cooling towers.* Part II: Fill and other design parameters. PhD Thesis Department of Mechanical Engineering. India, Kanpur: Institute of Technology, Dhaka. 9 págs.

- Lenntech. *Índice de Langelier*. https://www.lenntech.es/calculadoras/langelier/langelier.htm [6/10/18]
- Marroquín, L. 2010. *Mejoramiento del consumo de lubricantes por tonelada de caña molida de los sistemas de lubricación de chumaceras, en los molinos de los tándems A, B y plan de contingencia del ingenio Santa Ana*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- McCabe, L. *et al*. 2007. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 7ª ed. México: McGraw Hill. 1211 págs.
- Melgar, M, *et.al*. 2014. *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter. 526 págs.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. s.f. *Manual del Educación Ambiental del Recurso Hídrico en Guatemala*. http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf [17 de mayo de 2018]
- Mott, Robert L. 2006. *Mecánica de fluidos.* 6ª ed. México: Pearson educación. 633 págs.
- Nayyar, M. (2000) *Piping Handbook*. Séptima edición. McGraw-Hill
- Neira, Marco. 2006. *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación*. Tesis Universidad de Chile. Chile, Santiago. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 95 págs.
- NSK. *Tipos y Características de los Rodamientos*. En: https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf [7/5/2018]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Guatemala: Geografía, clima y población*. En: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GTM/indexesp.stm [12/10/2018]
- OTSA *Maquinaría Eléctrica* S.L. 2012. Cojinetes lubricados por agua. http://www.otsa.es/es/Products/ViewProduct/ctla [7 de mayo de 2018].
- Páez Chávez, H. V. (Noviembre de 2008). *Evaluación de la calidad del agua de proceso en un ingenio azucarero.* Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Pancorbo, F. 2010. C*orrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona: Marcombo. 594 págs.
- Pérez, J. M., & Pratt, L. (1997). *Industria Azucarera en Guatemala*: Análisis de Sostenibilidad. INCAE. Business School. Obtenido de http://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/articulos/cen720.php
- Perry, R. 2007. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. 8va ed. New York, USA: McGraw-Hill. 2640 pp.

- Pompetravaini Equipos. *Manual operativo de las bombas de vacío y compresores de anillo líquido*. http://www.preyva.com/bajar.php?id=B1%20Manual%20Vacio.pdf [7 de mayo de 2018].
- Presidencia de la República. (2006). *Capítulo V: Parámetros para aguas residuales y valores de descarga a cuerpos receptores*. En Acuerdo Gubernativo No. 236-2006(24). Guatemala.
- RAE. (2018). Recuperado el 7 de Mayo de 2018, de Diccionario de la Real Academia Española: http://dle.rae.es/?id=DgIqVCc
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Mexicali, Baja California: Plaza y Valdes.
- Rein, P. (2012) *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín, Alemania: Bartens. 861 págs.
- Rojas, Carlos, et al. 2010. << *Implementación de un sistema de recuperación de aguas para bombas de vacío con anillo líquido*>>. Revista de la Universidad Tecnológica de Pereira. [Colombia] 16 (44): 331-336.
- Romero, Jairo. 1999. *Potabilización del agua*. 3a ed. México: Alfaomega. 306 págs.
- Salazar, E. 2017. *Análisis beneficio-costo para la adquisición y montaje de un nuevo molino en el tándem A del ingenio Santa Ana*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Págs. 189.
- SENA. 1995. *Guía de referencia: Mantenimiento de Bombas Centrifugas*. http://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/762/1/mantenimiento_bombas_centrifugas.pdf [7 de mayo de 2018].
- Shaw, V. 1942. Cameron Hydraulic Data: *A Handy Reference on the Subject to Hydraulics, Steam and Water Vapor*. Ingersoll-Rand Company, Cameron Pump Division. 240 pp.
- Sinnott, R; Towler, G. (2008). *Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of plant and process design*. Elsevier. Págs. 1266.
- Spectra Precision. (2018). *Guía del usuario. Spectra Precision Laser HV302/HV302G*. Obtenido de Spectra Lasers: http://www.spectralasers.com/media/custom/upload/File-1530894618.pdf
- Spellman, F. (2009) *Handbook of wáter and wastewater treatment plant operations*. Segunda edición. Págs 813.
- Towler, G. y Sinnot, R. 2008. *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. USA: El Sevier. 1266 pp.
- Treybal Robert E. 1997. *Operaciones de transferencia de masa 2da ed. México*. McGraw-Hill. 865 págs.
- UNESCO. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018.* En: http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf [7/5/2018]

- Valdes Delgado, A., & de Armas Casanova, C. (2011). *Sugar processing and by-products of the sugar industry*. FAO Agricultural Services Bulletin.
- Valero, K. (2016) *Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera* Tres Valles, en Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. 38 págs.
- Westaway, C y Loomis, A. 1984. *Cameron Hydraulic Data: A handy reference on the subject of hydraylics, and steam.* 16va ed. U.S.A: INGERSOLLRAND. 231 págs.
- Wilkes, J. 2006. Fluid Mechanics for Chemical Engineers. 2ª edición. Prentice Hall PTR. 753 pp.
- WWF. 2014. *Use and Water Stewardship in SMEs in Lahore, Pakistan* (WSP). City-wide. Partnership for Sustainable Water. WWF-Pakistan. 28 pp.
- Xiloj Cuin, T. E. (2015). *Análisis Técnico Económico del Incremento de la Cogeneración Mediante la Optimización del Uso de Vapor con Biomasa Cañera y la Instalación de un Turbogenerador en un Ingenio Azúcarero*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://www.repositorio.usac.edu.gt/927/1/Tom%C3%A1s%20Enrique%20Xiloj%20Cuin.pd

XII. ANEXOS

A. Módulo 1: Área de molinos tándem "B"

1. Datos originales

Cuadro 64. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B

Área: Molinos Tándem B		Fecha			22/02/2018		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Alta	24	6	60.52	25	4	46.82
			4	40.25		3	28.46
			3	25.39		3	36.24
	Punto 2, Unidad hidráulica	31	30	23.29	32	30	22.34
			30	24.02		30	22.28
			30	24.23		30	23.46
	Punto 3, alta	24	3	33.43	24	5	104.8
			4	38.37		4	46.62
			3	28.68		4	47.44
	Punto 4, Media	23	9	8.17	24	7.5	6.87
			9.2	8.38		6.9	6.17
			11	9.6		7	6
Molino 2	Punto 1, Alta	28	7	6.59	24	6	5.48
			6.3	5.66		6.5	5.54
			10	8.64		5.9	5.2
	Punto 2, Baja	23	5	24.28	23	5	24.42
			6	27.6		5	25.43
			5	24.53		5	23.12
	Punto3, Baja	23	6	25	24	5	21.08
			5	21.09		5	21.07
			6	24.31		5	21.41

Cuadro 65. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B.

Área: Molinos Tándem B		Fecha			22/02/2018		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Baja	24	3	17.86	24.5	3	16.63
			3.8	19.51		4	20.01
			6	32.24		3	16.68
	Punto 2, Baja	28	4	18.7	24	3	14.54
			5.5	26.81		4	19.39
			4.5	22.12		3	15.11
	Punto 3, Alta	24	6.5	7.13	25	6	6.42
			6	6.69		7	7.59
			7.5	8.34		7	7.58
Molino 4	Punto 1, Baja	23	3	18.01	24	4	21.67
			4	21.62		3	16.57
			3.8	17.51		3	16.85
	Punto 2, Baja	24	5	23.37	25	4	17.94
			5	23.36		3	13.96
			5	23.39		3	13.51
	Punto 3, Alta	24	6.5	7.48	25	6.5	7.34
			5	5.81		5.8	6.18
			6.8	7.26		6	6.68
Molino 5	Punto 1, Baja	23	5	34.6	26	4	29.51
			3	18.27		3	22.87
			3	22.55		4	30.24
	Punto 2, Baja	24	3	31.11	25	3	25.81
			4	34.11		4	22.16
			4	36.82		3	25.2
	Punto 3, Alta	23	9	8.89	26	6.5	7.22
			8	8.26		8	8.65
			6.5	6.64		8	8.42

Cuadro 66. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			22/02/2018		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	23	3	10.71	25	3	10.71
			3	11.1		3	10.62
			3	10.85		3	10.55
	Punto 2, Superior	23.5	3	7.98	25	3	7.91
			3	7.88		3	7.9
			3	7.66		3	7.69
	Punto 3, Cañera	23	3	8.78	25	3	8.57
			3	8.3		3	8.46
			3	8.8		3	8.4
	Punto 4, Cuarta masa	24.5	3	16.22	26	3	14.06
			3	16.81		3	14.05
			3	16.64		3	13.44
Molino 2	Punto 1, Bagacera	25	5	19.01	26	5	16.8
			5	19.34		5	16.51
			5	19.34		5	16.15
	Punto 2, Superior	25	5	19.48	25	5	18.8
			5	19.72		5	20.44
			5	19		5	19.52
	Punto 3, Cañera	25	6	19.59	26	5	13.62
			6	19.43		5	13.99
			6	18.99		5	14.36
	Punto 4, Masa superior	24	4	142	25	5	26.92
			4	127.5		5	27.24
			3	96		5	28.12

Cuadro 67. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			22/02/2018		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	24	5	12.59	26	3	11.29
			5	12.72		3	11.29
			5	12.99		3	10.97
	Punto 2, Superior	23	3	9.15	24.5	3	8.88
			3	9.35		3	8.66
			3	9.35		3	8.53
	Punto 3, Cañera	23	3	8.61	25	3	8.64
			3	8.86		3	8.46
			3	8.91		3	8.75
	Punto 4, Masa superior	23	3	10.05	25	3	10.14
			3	10.66		3	10.14
			3	10.45		3	9.89
Molino 4	Punto 1, Bagacera	25	5	19.94	26	5	20.14
			5	18.55		5	19.55
			5	18.92		5	19.99
	Punto 2, Superior	25	5	14.05	26	5	13.33
			5	13.32		5	13.78
			5	13.09		5	14.08
	Punto 3, Cañera	25	5	14.54	26	5	13.83
			5	14.31		5	13.92
			5	14.49		5	13.91
	Punto 4, Masa Superior	26	5	18.27	25	5	18.01
			5	17.08		5	17.82
			5	17.08		5	18.27
Molino 5	Punto 1, Bagacera	23	3	11.48	25	3	12.05
			3	11.47		3	12.01
			3	11.08		3	12.11
	Punto 2, Superior	24	3	12.11	25	3	12.4
			3	12.09		3	12.35
			3	12.76		3	12.18
	Punto 3, Cañera	25	3	12.93	25	3	12.23
			3	12.34		3	12.32
			3	12.13		3	12.06
	Punto 4, Masa Superior	26	3	11	25	3	10.82
			3	10.76		3	11.14
			3	11		3	11.14

Cuadro 68. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado de taller		Fecha					
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	28	5	18.18	24	5	18.53
			5	17.29		5	18.75
			5	28.37		5	18.46
	Punto 2, Superior	25	5	11.12	25	5	11.4
			5	10.3		5.5	12.44
			5	10.37		5	11.63
	Punto 3, Cañera	25	5	10.34	25	5	10.79
			5	10.87		5	10.14
			6	11.19		5	10.47
	Punto 4, Cuarta masa	24.5	5	14.35	24	5	15.82
			5	14.08		5	15.55
			6	17.85		5	15.43
Molino 2	Punto 1, Bagacera	23	3	9.37	25	3	8.09
			3	9.1		3	8.24
			3	9.85		3	8
	Punto 2, Superior	23	3	7.17	25	3	6.72
			3	7.34		3	6.38
			3	6.86		3	6.51
	Punto 3, Cañera	22	3	9.91	24	3	10.16
			3	9.68		3	10.12
			3	9.42		3	10.4
	Punto 4, Masa superior	22.5	3	9.48	24	3	10.41
			3	9.22		3	10.46
			3	9.05		3	10.96

Cuadro 69. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado taller		Fecha			22/02/2018		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	25	5	11.19	25	5	11.84
			5	11.47		5	11.93
			5	11.44		5	11.36
	Punto 2, Superior	26	5	14.99	26	5	16.4
			5	16.12		5	16.8
			5	16.1		5	16.7
	Punto 3, Cañera	26	5	11.31	24	5	12.32
			5	11.46		5	11.72
			5	11.93		5	11.6
	Punto 4, Masa superior	24	5	16.38	26	5	17.37
			4.5	16.08		5.5	18.75
			5	16.76		5	18
Molino 4	Punto 1, Bagacera	No estaba operando					
	Punto 2, Superior	23	3	7.98	25	3	8.29
			3	7.89		3	8.04
			3	7.98		3	8.11
	Punto 3, Cañera	24.5	3	14.18	26	3	14.87
			3	14.18		3	14.57
			3	14.01		3	14.3
	Punto 4, Masa Superior	23	3	6.58	24	3	7.08
			3	6.7		3	7.1
			3	6.79		3	7.04
Molino 5	Punto 1, Bagacera	25	5	10.46	26	5	11.23
			5	10.37		5	10.98
			5	11.06		5	10.66
	Punto 2, Superior	26	5	14.71	26	5	16
			5	15.39		5	15.69
			5	15.88		5	15.37
	Punto 3, Cañera	25	5	11.49	25	5	10.97
			5.2	11.48		5	11.17
			5	11.36		5	11.77
	Punto 4, Masa Superior	25	5	9.11	26	4.5	9.41
			5	9.49		4	9.11
			4.8	9		3.8	8.45

Cuadro 70. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B.

Área: Molinos Tándem B		Fecha			Dia 2		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Alta	25.5	6.5	5.58	26	6.5	5.54
			8	7.21		6	4.86
			8	6.96		6.2	5.27
	Punto 2, Unidad hidráulica	34	30	24.3	36	30	23.8
			30	24.21		30	23.74
			30	24.6		30	23.94
	Punto 3, alta	26	4	33.29	26	4	26.73
			3	24.69		3	21.42
			4	33.14		4	27.25
	Punto 4, Media	26	3	23.83	26.5	3	20.51
			4	31.95		4	26.8
			4	32.14		3	20.09
Molino 2	Punto 1, Alta	25	7.7	6.39	26	5.5	5.3
			7.5	6.05		6.5	5.25
			7	5.9		6.8	5.5
	Punto 2, Baja	23	4	14.6	26	4	13.67
			4.5	16.6		4.5	16.94
			4	13.19		3.8	13.59
	Punto3, Baja	23	4	17.76	26	4	16.89
			4	15.66		4	17.3
			4	17.38		5	20.13

Cuadro 71. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B.

Área: Molinos Tándem B		Fecha			Dia 2		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Baja	24	3.5	16.59	26	5.5	24.69
			4	19.51		5	24.48
			3	14.76		3.5	15.73
	Punto 2, Baja	23	4	17.09	26	3.2	13.09
			3	12.64		4	17.23
			4	16.91		3	13.28
	Punto 3, Alta	24	6.5	6.2	27	5.5	5.59
			6.8	6.93		5.2	5.68
			6.8	6.26		6	6.12
Molino 4	Punto 1, Baja	26	4	19.89	26	4	19.56
			3	14.58		3	15.2
			5	24.16		4	19.18
	Punto 2, Baja	26	4	14.23	27	3	11.07
			3	11.67		4	14.74
			3	11.34		3	11.46
	Punto 3, Alta	26	6.5	6.43	26	6.2	6.88
			6.5	6.75		7.2	7.9
			5.5	5.88		5.8	6.35
Molino 5	Punto 1, Baja	25	3	16.32	26	3	16.74
			4	23.32		4	22.18
			3	16.91		3	17.54
	Punto 2, Baja	26	3	18.56	26	3	18.35
			4	25.32		4	24.95
			3	18.82		3	18.1
	Punto 3, Alta	26	6	5.25	26	6.5	6.48
			6	5.24		6	6.45
			6	5.64		6.3	6.49

Cuadro 72. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B).

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			Día 2		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	24	4	12.45	27	4	13.14
			4	12.23		4	12.6
			4	11.44		8	24.03
	Punto 2, Superior	24	4	9.37	26	4	9.58
			4	8.86		8	18.42
			4	9.32		8	18.15
	Punto 3, Cañera	24	4	10.54	26	4	11.36
			4	10.08		4	11.12
			4	10.13		8	20.57
	Punto 4, Cuarta masa	24	4	16.62	26	4	17.03
			4	16.66		8	33.65
			4	15.98		8	43.01
Molino 2	Punto 1, Bagacera	26	3	9.23	28	3	10.16
			3	9.13		3	10.24
			3	9.16		3	10.27
	Punto 2, Superior	No estaba operando					
	Punto 3, Cañera	25.5	3	7.7	27	3	8.86
			3	7.2		3	8.48
			3	7.31		3	8.69
	Punto 4, Masa superior	26	3	22.6	28	3	26.9
			3	22.92		3	26.5
			3	23.17		3	27.04

Cuadro 73. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			Día 2		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	25	4	12.24	27	4	12.4
			4	12.89		4	12.82
			4	12.16		4	14.05
	Punto 2, Superior	24	4	9.55	26	4	10
			4	9		4	10.13
			4	9.47		4	10.03
	Punto 3, Cañera	25	4	9.62	27	4.2	10.31
			4	9.52		4	9.82
			4	9.45		4	9.36
	Punto 4, Masa superior	24	4	9.89	27	4	11.57
			4	10.58		4	10.64
			4	10.37		8	22.43
Molino 4	Punto 1, Bagacera	26.5	3	9.94	28	3	10.3
			3	10.14		3	11.01
			3	10.96		3	10.93
	Punto 2, Superior	26	3	6.51	27	3	7.78
			3	6.76		4	8.82
			3	6.89		3	7.47
	Punto 3, Cañera	26	3	7.28	28	3	7.74
			3	7.36		3	8.14
			3	7.56		3	7.78
	Punto 4, Masa Superior	26.5	3	6.95	29	3	7.5
			3	7.13		3	7.18
			3	6.85		3	7.37
Molino 5	Punto 1, Bagacera	28	4	13.57	27	5	16.93
			4	12.33		3	11.37
			4	12.88		4	14.2
	Punto 2, Superior	24	4	12.94	27	3.5	11.9
			4	12.7		4	14.2
			4	12.81		3	11.22
	Punto 3, Cañera	25	4	13.33	27	3	12.54
			4	13.13		4	16.27
			4	13.71		3	13.02
	Punto 4, Masa Superior	24	4	10	27.5	3	9.26
			4	10.96		4	12.31
			4	10.4		3	9.56

Cuadro 74. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B).

Área: Molinos Tándem B lado de taller		Dia 2					
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	26	3	11.67	26	3.5	12.7
			3	11.7		4	15.94
			3	11.25		3.5	12.54
	Punto 2, Superior	27	3	6.68	26	4	10.08
			3	6.45		3	6.83
			3	6.81		4.5	10.1
	Punto 3, Cañera	25.5	4	6.92	26	4	6.99
			4	6.54		5	8.64
			4	6.43		4.5	7.22
	Punto 4, Cuarta masa	25	3	8.51	26	4.8	12.77
			3	8.28		4.5	10.38
			3	8.86		4.8	12.13
Molino 2	Punto 1, Bagacera	25	4	9.51	26.5	3	7.27
			4	10.27		3	6.6
			4	10.26		4	9.97
	Punto 2, Superior	25	4	8.76	26	3	5.82
			5	9.8		4.2	8.34
			4	8.02		3	6.02
	Punto 3, Cañera	24	4	12.05	25.5	4	10.44
			4	12.11		3	8.1
			4	12.78		4	11.83
	Punto 4, Masa superior	23	4	11.87	26	4	12.9
			4	12.11		3	9.23
			4	11.38		4	11.72

Cuadro 75. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado taller		Fecha			Dia 2		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	25	3	6.87	26	4	8.87
			4	9.7		3	7.5
			3	6.52		4	9.38
	Punto 2, Superior	27	3.5	7	26	3	6.63
			4	8.99		4	9.72
			3.3	6.9		3	6.39
	Punto 3, Cañera	26	3	6	26	5.5	12.6
			4	7.91		3	7.06
			4.3	8.71		4	9.18
	Punto 4, Masa superior	25	4.2	12.48	26	3	10.51
			3.3	9.36		4	12.64
			4.1	12.57		3	10.19
Molino 4	Punto 1, Bagacera	28	4	27.53	No estaba operando		
			4	27.6			
			4	27.69			
	Punto 2, Superior	25	4	10.17	26	3	8.25
			4	10.04		4	10.1
			4	10.25		3.5	8.74
	Punto 3, Cañera	25	4	17.06	26	4	17.73
			4	16.44		3	13.79
			4	16.76		4	17.43
	Punto 4, Masa Superior	25	6.5	11.38	26	3.2	6.34
			6.3	11.16		4	7.74
			6	10.89		3	5.6
Molino 5	Punto 1, Bagacera	26	3	7.36	26	4	10.41
			3	7.31		3.5	7.66
			3	6.78		4	8.94
	Punto 2, Superior	26	3	57.69	No estaba operando		
			3	58.02			
			4	67.03			
	Punto 3, Cañera	25	3	6.75	26	4	8.1
			3	6.71		4	8.87
			3	6.72		4.5	10.08
	Punto 4, Masa Superior	25	3	5.8	25	4	6.93
			3	5.55		4.5	7.89
			4.8	9		3.8	8.45

Cuadro 76. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B.

Área: Molinos Tándem B		Fecha			Dia 3		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Alta	26	6.3	5.7	27	5.5	4.99
			4.9	4.09		6.8	6.04
			4	3.6		5.5	5.05
	Punto 2, Unidad hidráulica	35	30	23.42	34	30	23.09
			30	23.15		30	23.04
			30	23.74		30	23.13
	Punto 3, alta	27	4	26.11	27	4.1	28.91
			4.2	26.42		4.4	29.16
			4	27.74		3.2	23.41
	Punto 4, Media	27	3.2	25.66	27.5	4.2	27.88
			5.2	38.49		3	23.65
			3.2	27.31		4	26.99
Molino 2	Punto 1, Alta	25	5.8	4.53	26.5	5.2	4
			4.3	3.82		5.8	4.33
			5	4.26		6	4.85
	Punto 2, Baja	26	4.2	13.77	26	5.4	17.6
			3.3	12.31		4.2	12.78
			4.5	15.99		4	12.03
	Punto3, Baja	26	4.5	18.4	26	4.9	16.75
			5.9	23.58		4.2	15.25
			4.2	17.7		3.9	13.62

Cuadro 77. Mediciones de caudal y temperatura de los reductores del tándem B.

Área: Molinos Tándem B		Fecha			Dia 3		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura ℃	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura ℃	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Baja	27	3.5	17.98	27	5.5	24.31
			4.2	19.76		5	21.74
			3.8	18.52		5.8	25.81
	Punto 2, Baja	26	4	18.75	27	4.5	18.05
			4	17.34		3.8	16.87
			6	27.36		3.2	13.3
	Punto 3, Alta	27	6.2	8.19	27	5.2	5.66
			5.7	7.02		6	6.41
			5.2	6.23		6.2	6.73
Molino 4	Punto 1, Baja	26	4.5	29.38	27	4	26.32
			3.8	22.08		5.1	33.31
			3.8	24.04		4.8	31.86
	Punto 2, Baja	27	3.9	15.81	27	5.5	20.75
			3.5	14.29		6.2	22.17
			4	14.29		5.6	20.76
	Punto 3, Alta	27	4.5	3.88	27	7.2	6.49
			5.8	5.27		8.5	7.06
			5.9	5.25		6.2	5.29
Molino 5	Punto 1, Baja	27	3	18.32	27	5	28.4
			3.5	20.1		4.9	26.6
			3.5	20.6		5.8	31.78
	Punto 2, Baja	25	4	28.12	27	3.8	27.81
			4.5	32.26		4	25.57
			3.5	26.5		3.5	26.53
	Punto 3, Alta	25	5.5	5.63	27	5.1	5.49
			6	5.97		6	6.53
			5	5.06		7	7.38

Cuadro 78. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			Dia 3		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	26.5	3	35.84	28.5	3	34.71
			4	45.08		3	33.7
			3	35.55		4	47.88
	Punto 2, Superior	25	3	8.2	27	4	9.02
			3	8.04		4	9.64
			3	8.49		3	7.04
	Punto 3, Cañera	26	3	9.27	27.5	4	10.51
			3	9.12		4	10.46
			3	9.24		4	8.43
	Punto 4, Cuarta masa	26	3	12.88	27	3	15.35
			3	12.1		3	14.78
			3	12.98		3	15.66
Molino 2	Punto 1, Bagacera	24.5	4	16.2	27	3	10.81
			3	12.42		3	11.26
			3	12.72		4	13.14
	Punto 2, Superior	25	3	14.43	27	3	9.34
			3	14.14		3	9.39
			3	14.42		3	10.02
	Punto 3, Cañera	No estaba operando			27	3	10.7
						4	11.82
						3	10.27
	Punto 4, Masa superior	No estaba operando					

Cuadro 79. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado espiga (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado tándem A		Fecha			Dia 3		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	27	3	11.35	28	3	10.91
			3	11.39		3.2	12.12
			3	11.01		3	11.58
	Punto 2, Superior	No estaba operando					
	Punto 3, Cañera	27	3	9.07	27.5	3	8.33
			3	9.14		3	8.3
			3	8.74		3	8.73
	Punto 4, Masa superior	26	3	9.49	27	3	10.09
			3	9.56		3	9.37
			3	9.28		3	9.7
Molino 4	Punto 1, Bagacera	26	3	20.6	27	3	23.34
			3	22.42		3	26.29
			3	22.34		3	28.29
	Punto 2, Superior	26	3	8.22	27	3	9.45
			3	8.65		3	9.05
			3	8.06		3	9.47
	Punto 3, Cañera	26	3	7.78	27	4	10.6
			3	8.69		3	8.04
			3	7.86		4	10.28
	Punto 4, Masa Superior	27	3	8.5	28	3	7.81
			3	8.25		3	7.92
			3	8.39		3	7.69
Molino 5	Punto 1, Bagacera	26	3	10.38	27.5	3	10.21
			3	10.58		4	12.6
			3	10.06		3	9.62
	Punto 2, Superior	26.5	3	11.81	28	3	11.89
			3	11.94		3	11.36
			3	11.37		3	11.75
	Punto 3, Cañera	26.5	3	10.26	28	3	9.81
			3	9.63		4	13.04
			3	10.38		3	10
	Punto 4, Masa Superior	No estaba operando					

Cuadro 80. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado de taller		Dia 3					
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	No estaba operando					
	Punto 2, Superior	26	4	9.14	22	3	6.5
			3	7.16		3	6.8
			3	7.58		3	6.64
	Punto 3, Cañera	26	3	6.52	23	3	6.01
			3	6.34		3	6.2
			3	6.56		3	6.32
	Punto 4, Cuarta masa	25.5	3	9.52	22	3	8.23
			3	9.47		3	8.08
			3	9.06		3	7.88
Molino 2	Punto 1, Bagacera	26.5	3	10	23	3	11.81
			3	9.77		3	11.82
			3	9.78		3	11.62
	Punto 2, Superior	26	3	8.31	22	3	8.1
			3	8.08		3	7.85
			3	7.87		3	8.26
	Punto 3, Cañera	26	3	10.68	22	3	10.45
			3	10.62		3	10.74
			3	10.23		3	11.36
	Punto 4, Masa superior	26	3	9.15	22	3	10.61
			3	9.08		3	10.89
			3	8.98		3	10.88

Cuadro 81. Mediciones de caudal y temperatura de chumaceras lado corona (tándem B)

Área: Molinos Tándem B lado taller		Fecha			Dia 3		
		Vuelta 1			Vuelta 2		
Sitio de muestra	Identificación de muestra	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)	Temperatura °C	Volumen (L)	Tiempo (s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	25	3	8.01	22	3.5	8.08
			3	8.2		3	7.62
			2.9	7.44		3.5	8.07
	Punto 2, Superior	33	3	12.04	24	3	10.7
			3	12.11		3	11.34
			3	12.25		3	11.4
	Punto 3, Cañera	26	4.2	9.92	22	3	7.48
			3	7.48		3	7.64
			3	7.92		3	7.62
	Punto 4, Masa superior	25	3	11.8	22.5	3	11.78
			3	12.11		3	12
			3	11.55		3	11.66
Molino 4	Punto 1, Bagacera	No estaba operando					
	Punto 2, Superior	26	3	13.92	22	3	16.14
			3	14.05		3	14.3
			3	14.34		3	15.55
	Punto 3, Cañera	26	3	14.57	22	3	15.89
			3	14.76		3	16.16
			3	14.91		3	16.39
	Punto 4, Masa Superior	25	3	6.41	21.6	4	9.13
			3	6.78		5	10.61
			4	10.74		3	7.04
Molino 5	Punto 1, Bagacera	27	3.2	9.35	23	3	8.52
			3	8.36		3	8.7
			3.2	9.11		3	8.12
	Punto 2, Superior	25	3	7.56	22	3	6.82
			3	7.35		3	6.68
			3	7.41		3	7.14
	Punto 3, Cañera	No estaba operando					
	Punto 4, Masa Superior	25	3	7.55	21	3	6.06
			3	7.38		3	6.35
			3	7.26		3	6.07

Cuadro 82. Propiedades de las fuentes de agua tomadas en cuenta en este trabajo

Fuente	Temperatura (˚C)	pH	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (ppm)	Hierro (ppm)
Pozo 4 (Virgen)	24	8.5	335.0	154.0	142.8	0.02
	24	8.4	331.0	151.0	142.8	
Pozo Hotel	21	7.7	222.0	102.0	177.8	0
	26	7.5	221.0	100.0	124.1	
Parábola	20.5	8.5	185.2	85.7	108.9	0.18
	20	8.6	164.7	75.0	107.1	
Tanque tándem A	25	8.5	212.0	97.3	113.4	0.05
	25	8.3	199.7	92.3	124.1	
Tanque tándem B	22	8.5	202.0	92.8	109.8	0.09
	24	8.4	331.0	151.0	142.8	
Tanque elevado	25	8.1	302.0	139.0	133.9	0.04
	25	7.9	294.0	134.0	142.8	
Pozo calderas	22	7.7	198.4	91.3	112.5	0
	28	7.4	197.6	90.1	120.5	

Cuadro 83. Porcentajes utilizados para el cálculo de costos de los equipos.

Dato	Porcentaje
Flete Miami - Guatemala	10%
Flete Guatemala - Ingenio	8%
IVA	12%
Arancel	0%
Otros	1%

2. Cálculos

Cálculo 1. Determinación del diámetro nominal del sistema de tuberías de la torre de enfriamiento al tanque elevado a partir de los caudales obtenidos durante la zafra 2017-2018 y asumiendo una velocidad del fluido de 2.13 m/s (7 ft/s).

$$\left(\frac{7ft}{s}\right)\left(\frac{1m}{3.28ft}\right) = \frac{2.13m}{s}$$

$$\left(\frac{38.65L}{s}\right)\left(\frac{1m^3}{1000L}\right) = \frac{0.038m^3}{s}$$

$$A = \left(\frac{\frac{0.038m^3}{s}}{\frac{2.13m}{s}}\right)\left(\frac{3.28ft}{1m}\right)^2 = 0.1957ft^2$$

Utilizando los Cuadros de tubería estándar de acero obtenidas de McCabe (2005), la tubería a utilizar es de 6'' de diámetro nominal de cédula 40.

Cálculo 2. Determinación de la velocidad real del sistema de tuberías de la torre de enfriamiento al tanque a partir de la tubería real a utilizar.

$$0.2006ft^2\left(\frac{1m}{3.28ft}\right)^2 = 0.0187m^2$$

$$\frac{0.038m^3}{s}\left(\frac{1}{0.0187m^2}\right) = \frac{2.08m}{s}$$

Cálculo 3. Determinación de la cabeza total de sistema de tuberías de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

$$H = \Delta\frac{p}{\rho g} + \Delta Z + \Delta\frac{V^2}{2g} + \frac{h_f}{g}$$

Utilizando los datos de presión de Cameron (1984)

$$H = 14m + 0.33m + 8.55m = 22.9m$$

Cálculo 4. Determinación del NPSH disponible en el sistema de tuberías de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

$$NPSH = \frac{1}{g}\left(\frac{p_a - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a$$

$$NPSH = \frac{1}{9.81}\left(\frac{101325\,Pa - 4247\,Pa}{995.71\frac{kg}{m^3}} - 1.54m\right) + 0.5m$$

$$NPSH = 10.28\, m$$

Cálculo 5. Determinación del promedio de los caudales de la unidad hidráulica en el primer día de muestreo.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n} x_i$$

Utilizando los datos del Cuadro 27 (página 63).

$$\bar{x} = \frac{1.28 + 1.24 + 1.23 + 1.34 + 1.34 + 1.28}{6}\,\frac{L}{s} = \frac{1.29L}{s}$$

Cálculo 6. Determinación de la temperatura del agua de entrada de la torre de enfriamiento, asumiendo una misma capacidad calorífica para todos los efluentes e igualando a cero la expresión.

$$Q = m\ Cp\ \Delta T$$

Para determinar la temperatura de la mezcla de los efluentes se utilizaron los valores obtenidos del balance de energía en el tanque general del sistema de recirculación y las funciones de Microsoft Excel.

$$Tf = 37.5°C$$

Cálculo 7. Determinación de la dureza del agua de entrada de la torre

$$Concentración\ en\ la\ piscina\ de\ la\ torre = \frac{47.7\frac{L}{s}\left(122.5\frac{mg}{L}\right)}{47.39\frac{L}{s}} = 123.26\frac{mg}{L}$$

$$Concentración\ en\ el\ tanque\ elevado = \frac{47.39\frac{L}{s}\left(123.26\frac{mg}{L}\right) + 22.7\frac{L}{s}\left(138.3\frac{mg}{L}\right)}{47.39\frac{L}{s} + 22.7\frac{L}{s}} = 128.14\frac{mg}{L}$$

La concentración final obtuvo al realizar varias iteraciones del proceso de concentración en la torre, hasta llegar a un valor constante.

Cálculo 8. Determinación del precio de los equipos

Utilizando una tasa de cambio de dólares a quetzale de 7.4 y asumiendo que el equipo se compraría como exwork.

$$Precio\ ExW = \$8{,}161\left(\frac{Q7.4}{\$1}\right) = Q60{,}391.40$$

$$Flete\ a\ Guatemala = 0.10 * Q60{,}391.40 = Q6{,}039.14$$

$$Flete\ del\ puero\ al\ ingenio = 0.08 * Q60{,}391.40 = Q4{,}831.31$$

$$Total = Q60{,}391.40 + Q6{,}039.14 + Q4{,}831.31 = Q71{,}261.85$$

$$Bomba\ más\ IVA = 1.12 * Q71{,}261.85 = Q79{,}813.27$$

$$Bomba\ más\ otros\ gastos = 1.01 * Q79{,}813.27 = Q80{,}611.41$$

3. Datos calculados

Cuadro 84. Caudales obtenidos de las mediciones en reductores.

	Muestra	Día 1		Día 2		Dia 3	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 1	Punto 1, Alta	0.10	0.09	1.16	1.17	1.11	1.10
		0.10	0.11	1.11	1.23	1.20	1.13
		0.12	0.08	1.15	1.18	1.11	1.09
	Punto 2, Unidad hidráulica	1.29	1.34	1.23	1.26	1.28	1.30
		1.25	1.35	1.24	1.26	1.30	1.30
		1.24	1.28	1.22	1.25	1.26	1.30
	Punto 3, Baja	0.09	0.05	0.12	0.15	0.15	0.14
		0.10	0.09	0.12	0.14	0.16	0.15
		0.10	0.08	0.12	0.15	0.14	0.14
	Punto 4, Baja	1.10	1.09	0.13	0.15	0.12	0.15
		1.10	1.12	0.13	0.15	0.14	0.13
		1.15	1.17	0.12	0.15	0.12	0.15
Molino 2	Punto 1, Alta	1.06	1.09	1.21	1.04	1.28	1.30
		1.11	1.17	1.24	1.24	1.13	1.34
		1.16	1.13	1.19	1.24	1.17	1.24
	Punto 2, Baja	0.21	0.20	0.27	0.29	0.31	0.31
		0.22	0.20	0.27	0.27	0.27	0.33
		0.20	0.22	0.30	0.28	0.28	0.33
	Punto3, Baja	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.29
		0.24	0.24	0.26	0.23	0.25	0.28
		0.25	0.23	0.23	0.25	0.24	0.29
Molino 3	Punto 1, Baja	0.17	0.18	0.21	0.22	0.19	0.23
		0.19	0.20	0.21	0.20	0.21	0.23
		0.19	0.18	0.20	0.22	0.21	0.22
	Punto 2, Baja	0.21	0.21	0.23	0.24	0.21	0.25
		0.21	0.21	0.24	0.23	0.23	0.23
		0.20	0.20	0.24	0.23	0.22	0.24
	Punto 3, Alta	0.91	0.93	1.05	0.98	0.76	0.92
		0.90	0.92	0.98	0.92	0.81	0.94
		0.90	0.92	1.09	0.98	0.83	0.92

Cuadro 85. Caudales obtenidos de las mediciones en reductores.

Muestra		Día 1		Día 2		Dia 3	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 4	Punto 1, Baja	0.1666	0.1846	0.2011	0.2045	0.1532	0.1520
		0.1850	0.1811	0.2058	0.1974	0.1721	0.1531
		0.2170	0.1780	0.2070	0.2086	0.1581	0.1507
	Punto 2, Baja	0.2139	0.2230	0.2811	0.2710	0.2467	0.2651
		0.2140	0.2149	0.2571	0.2714	0.2449	0.2797
		0.2138	0.2221	0.2646	0.2618	0.2799	0.2697
	Punto 3, Alta	0.8690	0.8856	1.0109	0.9012	1.1598	1.1094
		0.8606	0.9385	0.9630	0.9114	1.1006	1.2040
		0.9366	0.8982	0.9354	0.9134	1.1238	1.1720
Molino 5	Punto 1, Baja	0.1445	0.1355	0.1838	0.1792	0.1638	0.1761
		0.1642	0.1312	0.1715	0.1803	0.1741	0.1842
		0.1330	0.1323	0.1774	0.1710	0.1699	0.1825
	Punto 2, Baja	0.0964	0.1162	0.1616	0.1635	0.1422	0.1366
		0.1173	0.1805	0.1580	0.1603	0.1395	0.1564
		0.1086	0.1190	0.1594	0.1657	0.1321	0.1319
	Punto 3, Alta	1.0124	0.9003	1.1429	1.0031	0.9769	0.9290
		0.9685	0.9249	1.1450	0.9302	1.0050	0.9188
		0.9789	0.9501	1.0638	0.9707	0.9881	0.9485

Cuadro 86. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	0.2750	0.2698	0.2571	0.2756		
		0.2892	0.2667	0.2564	0.2509		
		0.1762	0.2709	0.2667	0.2791		
	Punto 2, Superior	0.4496	0.4386	0.4491	0.3968	0.4376	0.4615
		0.4854	0.4421	0.4651	0.4392	0.4190	0.4412
		0.4822	0.4299	0.4405	0.4455	0.3958	0.4518
	Punto 3, Cañera	0.4836	0.4634	0.5780	0.5722	0.4601	0.4992
		0.4600	0.4931	0.6116	0.5787	0.4732	0.4839
		0.5362	0.4776	0.6221	0.6233	0.4573	0.4747
	Punto 4, Cuarta masa	0.3484	0.3161	0.3525	0.3759	0.3151	0.3645
		0.3551	0.3215	0.3623	0.4335	0.3168	0.3713
		0.3361	0.3240	0.3386	0.3957	0.3311	0.3807
Molino 2	Punto 1, Bagacera	0.3202	0.3708	0.4206	0.4127	0.3000	0.2540
		0.3297	0.3641	0.3895	0.4545	0.3071	0.2538
		0.3046	0.3750	0.3899	0.4012	0.3067	0.2582
	Punto 2, Superior	0.4184	0.4464	0.4566	0.5155	0.3610	0.3704
		0.4087	0.4702	0.5102	0.5036	0.3713	0.3822
		0.4373	0.4608	0.4988	0.4983	0.3812	0.3632
	Punto 3, Cañera	0.3027	0.2953	0.3320	0.3831	0.2809	0.2871
		0.3099	0.2964	0.3303	0.3704	0.2825	0.2793
		0.3185	0.2885	0.3130	0.3381	0.2933	0.2641
	Punto 4, Masa superior	0.3165	0.2882	0.3370	0.3101	0.3279	0.2828
		0.3254	0.2868	0.3303	0.3250	0.3304	0.2755
		0.3315	0.2737	0.3515	0.3413	0.3341	0.2757

Cuadro 87. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 3	Punto 1, Bagacera	0.4468	0.4223	0.4367	0.4510	0.3745	0.4332
		0.4359	0.4191	0.4124	0.4000	0.3659	0.3937
		0.4371	0.4401	0.4601	0.4264	0.3898	0.4337
	Punto 2, Superior	0.3336	0.3049	0.5000	0.4525	0.2492	0.2804
		0.3102	0.2976	0.4449	0.4115	0.2477	0.2646
		0.3106	0.2994	0.4783	0.4695	0.2449	0.2632
	Punto 3, Cañera	0.4421	0.4058	0.5000	0.4365	0.4234	0.4011
		0.4363	0.4266	0.5057	0.4249	0.4011	0.3927
		0.4191	0.4310	0.4937	0.4357	0.3788	0.3937
	Punto 4, Masa superior	0.3053	0.2879	0.3365	0.2854	0.2542	0.2547
		0.2799	0.2933	0.3526	0.3165	0.2477	0.2500
		0.2983	0.2778	0.3262	0.2944	0.2597	0.2573
Molino 4	Punto 1, Bagacera						
	Punto 2, Superior	0.3759	0.3619	0.3933	0.3636	0.2155	0.1859
		0.3802	0.3731	0.3984	0.3960	0.2135	0.2098
		0.3759	0.3699	0.3902	0.4005	0.2092	0.1929
	Punto 3, Cañera	0.2116	0.2017	0.2345	0.2256	0.2059	0.1888
		0.2116	0.2059	0.2433	0.2175	0.2033	0.1856
		0.2141	0.2098	0.2387	0.2295	0.2012	0.1830
	Punto 4, Masa Superior	0.4559	0.4237	0.5712	0.5047	0.4680	0.4381
		0.4478	0.4225	0.5645	0.5168	0.4425	0.4713
		0.4418	0.4261	0.5510	0.5357	0.3724	0.4261

Cuadro 88. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado corona.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 5	Punto 1, Bagacera	0.4780	0.4452	0.4076	0.3842	0.3422	0.3521
		0.4822	0.4554	0.4104	0.4569	0.3589	0.3448
		0.4521	0.4690	0.4425	0.4474	0.3513	0.3695
	Punto 2, Superior	0.3399	0.3125	0.0520		0.3968	0.4399
		0.3249	0.3187	0.0517		0.4082	0.4491
		0.3149	0.3253	0.0597		0.4049	0.4202
	Punto 3, Cañera	0.4352	0.4558	0.5	0.4938		
		0.4530	0.4476	0.5	0.4510		
		0.4401	0.4248	0.4	0.4464		
	Punto 4, Masa Superior	0.5488	0.4782	0.6	0.5772	0.3974	0.4950
		0.5269	0.4391	0.6	0.5703	0.4065	0.4724
		0.5333	0.4497	0.6	0.5700	0.4132	0.4942

Cuadro 89. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 1	Punto 1, Bagacera	0.2801	0.2801	0.3213	0.3044	0.0837	0.0864
		0.2703	0.2825	0.3271	0.3175	0.0887	0.0890
		0.2765	0.2844	0.3497	0.3329	0.0844	0.0835
	Punto 2, Superior	0.3759	0.3793	0.4269	0.4175	0.3659	0.4435
		0.3807	0.3797	0.4515	0.4343	0.3731	0.4149
		0.3916	0.3901	0.4292	0.4408	0.3534	0.4261
	Punto 3, Cañera	0.3417	0.3501	0.3795	0.3521	0.3236	0.3806
		0.3614	0.3546	0.3968	0.3597	0.3289	0.3824
		0.3409	0.3571	0.3949	0.3889	0.3247	0.4745
	Punto 4, Cuarta masa	0.1850	0.2134	0.2407	0.2349	0.2329	0.1954
		0.1785	0.2135	0.2401	0.2377	0.2479	0.2030
		0.1803	0.2232	0.2503	0.1860	0.2311	0.1916

Cuadro 90. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 2	Punto 1, Bagacera	0.2630	0.2976	0.3250	0.2953	0.2469	0.2775
		0.2585	0.3028	0.3286	0.2930	0.2415	0.2664
		0.2585	0.3096	0.3275	0.2921	0.2358	0.3044
	Punto 2, Superior	0.2567	0.2660			0.2079	0.3212
		0.2535	0.2446			0.2122	0.3195
		0.2632	0.2561			0.2080	0.2994
	Punto 3, Cañera	0.3063	0.3671	0.3896	0.3386		0.2804
		0.3088	0.3574	0.4167	0.3538		0.3384
		0.3160	0.3482	0.4104	0.3452		0.2921
	Punto 4, Masa superior	0.0282	0.1857	0.1327	0.1115		
		0.0314	0.1836	0.1309	0.1132		
		0.0313	0.1778	0.1295	0.1109		
Molino 3	Punto 1, Bagacera	0.3971	0.2657	0.3268	0.3226	0.2643	0.2750
		0.3931	0.2657	0.3103	0.3120	0.2634	0.2640
		0.3849	0.2735	0.3289	0.2847	0.2725	0.2591
	Punto 2, Superior	0.3279	0.3378	0.4188	0.4000		
		0.3209	0.3464	0.4444	0.3949		
		0.3209	0.3517	0.4224	0.3988		
	Punto 3, Cañera	0.3484	0.3472	0.4158	0.4074	0.3308	0.3601
		0.3386	0.3546	0.4202	0.4073	0.3282	0.3614
		0.3367	0.3429	0.4233	0.4274	0.3432	0.3436
	Punto 4, Masa superior	0.2985	0.2959	0.4044	0.3457	0.3161	0.2973
		0.2814	0.2959	0.3781	0.3759	0.3138	0.3202
		0.2871	0.3033	0.3857	0.3567	0.3233	0.3093

Cuadro 91. Caudales obtenidos de las mediciones en chumaceras lado espiga.

Identificación de muestra		Día uno		Día dos		Día tres	
		Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)	Caudal (L/s)
Molino 4	Punto 1, Bagacera	0.2508	0.2483	0.3018	0.2913	0.1456	0.1285
		0.2695	0.2558	0.2959	0.2725	0.1338	0.1141
		0.2643	0.2501	0.2737	0.2745	0.1343	0.1060
	Punto 2, Superior	0.3559	0.3751	0.4608	0.3856	0.3650	0.3175
		0.3754	0.3628	0.4438	0.4535	0.3468	0.3315
		0.3820	0.3551	0.4354	0.4016	0.3722	0.3168
	Punto 3, Cañera	0.3439	0.3615	0.4121	0.3876	0.3856	0.3774
		0.3494	0.3592	0.4076	0.3686	0.3452	0.3731
		0.3451	0.3595	0.3968	0.3856	0.3817	0.3891
	Punto 4, Masa Superior	0.2737	0.2776	0.4317	0.4000	0.3529	0.3841
		0.2927	0.2806	0.4208	0.4178	0.3636	0.3788
		0.2927	0.2737	0.4380	0.4071	0.3576	0.3901
Molino 5	Punto 1, Bagacera	0.2613	0.2490	0.2948	0.2953	0.2890	0.2938
		0.2616	0.2498	0.3244	0.2639	0.2836	0.3175
		0.2708	0.2477	0.3106	0.2817	0.2982	0.3119
	Punto 2, Superior	0.2477	0.2419	0.3091	0.2941	0.2540	0.2523
		0.2481	0.2429	0.3150	0.2817	0.2513	0.2641
		0.2351	0.2463	0.3123	0.2674	0.2639	0.2553
	Punto 3, Cañera	0.2320	0.2453	0.3	0.2392	0.2924	0.3058
		0.2431	0.2435	0.3	0.2459	0.3115	0.3067
		0.2473	0.2488	0.3	0.2304	0.2890	0.3000
	Punto 4, Masa Superior	0.2727	0.2773	0.4	0.3240		
		0.2788	0.2693	0.4	0.3249		
		0.2727	0.2693	0.4	0.3138		

Cuadro 92. Diferencial de temperatura respecto a fuente de agua del tanque del T.A.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua, y energía cedida o ganada en el balance de energía del tanque del tándem A

Equipo	Punto de muestra	Temperatura °C	Caudal kg/s	dt °C	Q1 (J)
Reductores	Molino 1	28.5	2.0	8.3	1.1
	Molino 2	28.2	1.3	8.0	1.1
	Molino 3	28.8	1.7	8.6	0.5
	Molino 4	28.3	1.8	8.1	1.4
	Molino 5	27.8	1.6	7.6	2.0
	Molino 6	30.6	1.4	10.3	-2.0
Chumacera Chumaceras lado corona	Molino 1	28.8	1.5	8.6	0.4
	Molino 2	27.9	2.0	7.7	2.3
	Molino 3	28.1	1.7	7.9	1.7
	Molino 4	28.9	1.6	8.6	0.4
	Molino 5	27.6	1.4	7.4	2.0
	Molino 6	28.4	1.4	8.1	1.0
Chumacera Chumaceras lado espiga	Molino 1	29.6	1.6	9.3	-0.8
	Molino 2	27.9	1.5	7.6	1.8
	Molino 3	28.9	1.5	8.6	0.4
	Molino 4	30.3	0.6	10.1	-0.7
	Molino 5	27.8	1.1	7.6	1.4
	Molino 6	29.6	1.2	9.3	-0.5
Reductores Planetarios	Molino 1	29.8	1.0	4.8	-0.7
	Molino 2	31.7	1.9	6.7	-4.9
	Molino 3	32.5	0.6	7.5	-2.1
	Molino 4	30.3	1.4	5.3	-1.7
	Molino 5	30.2	0.9	5.2	-1.0
	Molino 6	31.0	1.6	6.0	-3.1

Cuadro 93. Dif. de temperatura de fuente de agua integrado al sistema de recirculación.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua, y energía cedida o ganada en el balance de energía del tanque del tándem A integrado al sistema de recirculación.

Equipo	Punto de muestra	Temperatura 2 °C	Q2 (J)
Reductores	Molino 1	36.7	-1.0
	Molino 2	36.4	-0.2
	Molino 3	37.0	-1.3
	Molino 4	36.5	-0.5
	Molino 5	36.0	0.4
	Molino 6	38.7	-3.5
Chumacera Chumaceras lado corona	Molino 1	37.0	-1.1
	Molino 2	36.1	0.2
	Molino 3	36.3	-0.1
	Molino 4	37.0	-1.3
	Molino 5	35.8	0.6
	Molino 6	36.5	-0.4
Chumacera Chumaceras lado espiga	Molino 1	37.7	-2.4
	Molino 2	36.0	0.3
	Molino 3	37.0	-1.2
	Molino 4	38.5	-1.4
	Molino 5	36.0	0.3
	Molino 6	37.7	-1.7
Reductores Planetarios	Molino 1	33.2	3.1
	Molino 2	35.1	2.1
	Molino 3	35.9	0.2
	Molino 4	33.7	3.5
	Molino 5	33.6	2.5
	Molino 6	34.4	3.0

Cuadro 94. Dif. de temperatura respecto a los efluentes de patio de caña del T.A.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua de los efluentes de patio de caña del tándem A.

Punto de muestra	Temperatura °C	Caudal kg/s	dT
Virador A	32.8	1.0	7.8
Reductor Pre-cuchilla A	31.5	2.1	6.5
Reductor Picadora A	31.1	1.8	6.1
Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	30.3	2.2	5.3
Rodamientos desfibradora	30.9	1.4	5.9
Reductor desfibradora A	30.8	1.1	5.8

Cuadro 95. Dif. de T respecto a la fuente de agua y energía en balance del tanque T.B.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua, y energía cedida o ganada en el balance de energía del tanque del tándem B

Equipo	Punto de muestra	Temperatura promedio	Caudal kg/s	dT °C	Q1 (J)
Reductores	Unidad hidráulica	33.7	1.3	8.7	9.9
	Molino 1	25.6	1.4	5.4	-0.4
	Molino 2	25.0	1.7	4.8	-1.6
	Molino 3	25.6	1.4	5.4	-0.4
	Molino 4	25.7	1.4	5.5	-0.3
	Molino 5	25.6	1.3	5.4	-0.4
Chumaceras Chumaceras lado corona	Molino 1	25.2	1.6	5.0	-1.1
	Molino 2	24.3	1.4	4.1	-2.3
	Molino 3	25.4	1.5	5.2	-0.8
	Molino 4	25.4	1.0	5.2	-0.5
	Molino 5	25.1	1.7	4.9	-1.4
Chumaceras Chumaceras lado espiga	Molino 1	25.4	1.2	5.2	-0.6
	Molino 2	25.9	1.0	5.7	0.0
	Molino 3	25.4	1.4	5.2	-0.7
	Molino 4	26.5	1.3	6.3	0.8
	Molino 5	25.9	1.1	5.7	0.0

Cuadro 96. Dif. de T respecto a la fuente de agua del tanque del T.B.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua, y energía cedida o ganada en el balance de energía del tanque del tándem B integrado al sistema de recirculación.

Equipo	Punto de muestra	Temperatura 2 °C	Q2 (J)
Reductores	Unidad hidráulica	37.1	-4.2
	Molino 1	33.8	0.1
	Molino 2	33.2	1.1
	Molino 3	33.8	0.1
	Molino 4	33.9	-0.1
	Molino 5	33.8	0.1
Chumaceras lado corona	Molino 1	33.4	0.7
	Molino 2	32.5	1.9
	Molino 3	33.6	0.4
	Molino 4	33.6	0.2
	Molino 5	33.3	0.9
Chumaceras lado espiga	Molino 1	33.6	0.3
	Molino 2	34.1	-0.3
	Molino 3	33.6	0.3
	Molino 4	34.7	-1.1
	Molino 5	34.1	-0.3

Cuadro 97. Dif. de T respecto a la fuente de efluentes de patio de caña de T.A.

Diferencial de temperatura respecto a la fuente de agua de los efluentes de patio de caña del tándem “A”.

Punto de muestra	Temperatura °C	Caudal kg/s	dT °C
Virador B	34.1	0.54	11.1
Reductor Pre-cuchilla B	28.3	1.28	5.3
Reductor Picadora B	28.7	2.00	5.7
Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	27.4	0.60	4.4
Reductor desfibradora B	27.4	1.46	4.4

Cuadro 98. Dif. de T respecto a la fuente de agua de los efluentes de fábrica.

Diferencial de temepratura rescpecto a la fuente de agua de los efluentes de fábrica.

Punto de muestra	Temperatura °C	Caudal kg/s	dT °C
Salida agua de bandejas de cristalizadores de masa 3era (tubo 6’’)	31.5	0.85	6.5
Tubo 2: agua de bombas de vacío filtros rotativos	42.2	2.60	17.2
Enfriamiento centrifugas modelo G8	51.9	0.10	26.9
Hidro lavadora	37.5	0.69	12.5
Tanque de recepción del agua de enfriamiento de bombas	35.7	1.04	10.7

Cuadro 99. Temperaturas efluentes obtenidas con respecto a las fuentes de agua.

Temperaturas de los efluentes de agua obtenidas con los diferenciales de temperatura con respecto a las fuentes de agua correspondientes.

Lugar	Punto de muestra	Temperatur1 °C	Temperatur2 °C
Patio A	Virador A	32.8	39.9
	Reductor Pre-cuchilla A	31.5	38.6
	Reductor Picadora A	31.1	38.2
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	30.3	37.4
	Rodamientos desfibradora	30.9	38.1
	Reductor desfibradora A	30.8	37.9
Tándem B	Virador B	34.1	42.0
	Reductor Pre-cuchilla B	28.3	36.2
	Reductor Picadora B	28.7	36.6
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	27.4	35.3
	Reductor desfibradora B	27.4	35.3
Fábrica	Salida agua de bandejas de cristalizadores de masa 3era (tubo 6'')	31.5	34.9
	Agua de bombas de vacío filtros rotativos	42.2	45.6
	Enfriamiento centrifugas modelo G8	51.9	55.3
	Hidro lavadora	37.5	40.9
	Tanque de recepción del agua de enfriamiento de bombas	35.7	39.1
Tanque tándem A	Tanque	29.1	36.2

Cuadro 100. Balance de energía del tanque general del sistema de recirculación.

Energía cedida o ganada en el balance de energía del tanque general del sistema de recirculación.

Lugar	Punto de muestra	Q1 (J)	Q2 (J)
Patio A	Virador A	2.4	2.8
	Reductor Pre-cuchilla A	1.7	2.7
	Reductor Picadora A	0.6	1.4
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	-1.5	-0.5
	Rodamientos desfibradora	0.2	0.8
	Reductor desfibradora A	-0.1	0.6
Tándem B	Virador B	1.9	2.6
	Reductor Pre-cuchilla B	-4.4	-2.4
	Reductor Picadora B	-6.8	-3.1
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	-2.8	-1.9
	Reductor desfibradora B	-7.5	-4.9
Fábrica	Salida agua de bandejas de cristalizadores de masa 3era (tubo 6'')	0.6	-2.5
	Tubo 2: agua de bombas de vacío filtros rotativos	33.9	24.0
	Enfriamiento centrifugas modelo G8	2.4	2.0
	Hidro lavadora	9.6	4.8
	Tanque de recepción del agua de enfriamiento de bombas	5.9	1.8
Tanque tándem A	Tanque	-36.2	-28.3

Cuadro 101. Temperaturas obtenidas del balance de energía.

Punto de muestra	Temperatura 1 °C	Temperatura 2 °C
Tanque tándem A	29.1	32.1
Tanque tándem B	25.9	30.9
Tanque elevado	25	28.4
Torre de enfriamiento	30.8	37.6

Cuadro 102. Parámetros del agua de enfriamiento, de reposición y de la piscina de la torre.

Condiciones iniciales de agua de enfriamiento	Caudal (l/s)	Dureza (ppm)	Conductividad	Salinidad (ppm)	pH
Agua de enfriamiento	47.66	122.50	208.59	95.86	8.3
Agua de reposición	22.70	138.30	298.00	136.50	8.0
Agua concentrada	47.39	140.84	303.40	138.97	9.67

Cuadro 103. Inversión del sistema de recirculación de la torre al tanque elevado.

Tuberías y accesorios	Unidades	Costo	Total
Tubería 6"	105 m	Q55.78/ft	Q19,210.63
Válvulas de compuerta 6"	2	Q2,960.00	Q5,920.00
codos de 90°	10	Q180.00	Q1,800.00
Válvula de cheque 6"	2	Q3,785.00	Q7,570.00
Válvula de globo 6"	2	Q9,830.00	Q19,660.00
Contracción 6"-4"	2	Q136.00	Q272.00
Bomba	2	Q80,611.41	Q161,222.82
Transmisor y controlador de nivel	1	Q6,568.63	Q6,568.63
Controlador	2	Q2,173.08	Q4,346.16
Total			Q278,331.48

Cuadro 104. Inversión inicial del sistema recirculación del tanque elevado a molinos.

Tuberías y accesorios	Unidades	Costo	Total
Tubería 8"	23.5	Q91.96/ft	Q7,088.28
Válvulas de compuerta 8"	2	Q3,785.00	Q5,920.00
codos de 90°	6	Q385.00	Q1,080.00
Total			Q18,032.99

Cuadro 105. Longitud equivalente de accesorios en sistema de recirculación de torre

Longitud equivalente de los accesorios utilizados en el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente ft	Longitud equivalente m
Válvulas de compuerta	1	4.04	1.23
codos de 90°	7	106.40	32.44
Válvula de cheque	2	101.00	30.79
Válvula de globo	1	172.00	52.44
Suma		383.44	116.90

Cuadro 106. Pérdida de cabeza en el sistema de recirculación por tuberías y accesorios.

Pérdida de cabeza en el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado, por tuberías y accesorios.

Dato	Valor
Longitud de tubería (m)	101.4
Longitud equivalente de accesorios (m)	116.9
Perdida de cabeza cada ft/100ft	2.33
Perdida de cabeza total (m)	5.086

Cuadro 107. Variables de ec. de Bernoulli para sistema de recirculación de torre.

Variables de la ecuación de Bernoulli para el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

Dato	Valor
$\Delta V^2/2g$	0.33 m
hf	8.55 m
Δz	14.00 m

Cuadro 108.Condiciones del agua a la entrada de la torre de enfriamiento

Condiciones iniciales de agua de enfriamiento	Caudal (l/s)	Dureza (ppm)	Conductividad	Salinidad	pH
Agua de enfriamiento	47.7	122.5	208.59	95.86	8.3
Agua de reposición	22.7	138.3	298.00	136.50	8.0
Agua concentrada	47.4	140.8	303.41	138.97	9.7

Cuadro 109. Datos de solidos suspendidos en molinos tándem B.

Área	Área	Localización	Peso seco (g)	ml usados	Filtro con muestra	Pesos sólidos	Solidos suspendidos totales (ppm)
Molinos tándem B	Molino 1	Unidad hidráulica Walker	0.3924	250	0.3929	0.0005	2
		Reductores	0.3995	200	0.4001	0.0006	3
		Chumaceras lado corona	0.3930	100	0.3934	0.0004	4
		Chumaceras lado espiga	0.3934	100	0.3938	0.0004	4
	Molino 2	Reductores	0.3968	100	0.3972	0.0004	4
		Chumaceras lado corona	0.3945	100	0.3950	0.0005	5
		Chumaceras lado espiga	0.3925	100	0.3928	0.0003	3
	Molino 3	Reductores	0.3940	100	0.3942	0.0002	2
		Chumaceras lado corona	0.3957	100	0.3960	0.0003	3
		Chumaceras lado espiga	0.3955	100	0.3958	0.0003	3
	Molino 4	Reductores	0.3955	100	0.3957	0.0002	2
		Chumaceras lado corona	0.3997	100	0.4001	0.0004	4
		Chumaceras lado espiga	0.3971	100	0.3974	0.0003	3
	Molino 5	Reductores	0.3924	200	0.3930	0.0006	3
		Chumaceras lado corona	0.3992	100	0.3995	0.0003	3
		Chumaceras lado espiga	0.3935	100	0.3938	0.0003	3

Cuadro 110. Iteraciones para el cálculo de pH en el agua de alimentación de la torre.

No.	[H] en la piscina de la torre	[H] en tanque elevado	pH en piscina de la torre
1	5.04E-09	6.68E-09	9.97
2	6.72E-09	7.82E-09	9.85
3	7.87E-09	8.60E-09	9.78
4	8.65E-09	9.12E-09	9.74
5	9.17E-09	9.48E-09	9.71
6	9.53E-09	9.72E-09	9.70
7	9.78E-09	9.89E-09	9.69
8	9.95E-09	1.00E-08	9.68
9	1.01E-08	1.01E-08	9.67
10	1.01E-08	1.01E-08	9.67
11	1.02E-08	1.02E-08	9.67

Cuadro 111. Iteraciones para el cálculo de dureza en el agua de alimentación de la torre.

No.	Dureza en piscina de la torre (ppm)	Dureza en tanque elevado (ppm)
1	123.26	128.14
2	128.88	131.94
3	132.71	134.53
4	135.31	136.29
5	137.08	137.49
6	138.28	138.30
7	139.10	138.85
8	139.66	139.23
9	140.04	139.48
10	140.29	139.66
11	140.47	139.78
12	140.59	139.86
13	140.67	139.91
14	140.72	139.95
15	140.76	139.97
16	140.79	139.99
17	140.80	140.00
18	140.82	140.01
19	140.82	140.02
20	140.83	140.02

Cuadro 112. Iteraciones para cálculo de conductividad en agua de alimentación de la torre.

No.	Sólidos totales en piscina de la torre (ppm)	Sólidos totales en tanque elevado (ppm)
1	134.27	152.56
2	153.44	165.52
3	166.48	174.33
4	175.34	180.32
5	181.37	184.40
6	185.47	187.17
7	188.26	189.06
8	190.15	190.34
9	191.44	191.21
10	192.32	191.80
11	192.92	192.20
12	193.32	192.48
13	193.60	192.66
14	193.78	192.79
15	193.91	192.88
16	194.00	192.94
17	194.06	192.98
18	194.10	193.00
19	194.12	193.02
20	194.14	193.03

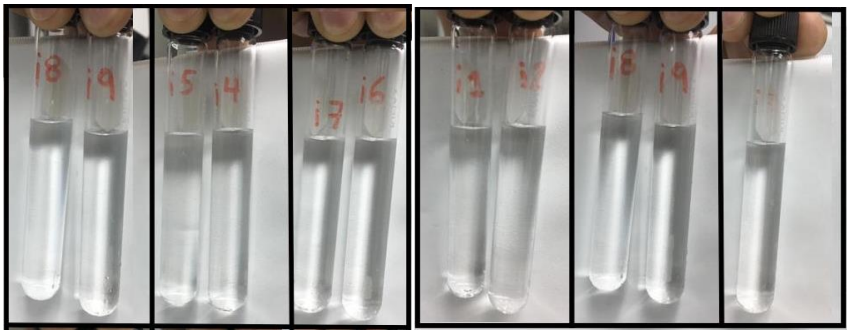
Cuadro 113. Iteraciones para el cálculo de salinidad en el agua de alimentación de la torre.

No.	Salinidad en piscina de la torre (ppm)	Salinidad en tanque elevado (ppm)
1	96.41	109.40
2	110.03	118.61
3	119.29	124.87
4	125.59	129.13
5	129.88	132.02
6	132.79	133.99
7	134.77	135.33
8	136.12	136.24
9	137.03	136.86
10	137.65	137.28
11	138.08	137.57
12	138.37	137.76
13	138.56	137.89
14	138.70	137.98
15	138.79	138.05
16	138.85	138.09
17	138.89	138.12
18	138.92	138.13
19	138.94	138.15
20	138.95	138.16
21	138.96	138.16

B. Módulo 2: Área de patio de caña

1. Datos originales

Figura 65. Fotografías del análisis de grasas y aceites



Nota: En esta figura se presentan las fotografías del análisis de grasas y aceites para los once equipos evaluados. Cada tubo de ensayo corresponde a un equipo distinto. De izquierda a derecha, los equipos son: virador A, reductor pre-cuchilla A, reductor picadora A, rodamientos A, rodamientos desfibradora A, reductor desfibradora A, virador B, reductor pre-cuchilla b, reductor picadora B, rodamientos B y reductor desfibradora B.

Cuadro 114. Medición de caudal del día jueves 15-02-18

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
8:50	Virador A	34	25.0	20.9
			30.0	25.4
			30.0	25.0
9:05	Reductor Pre-cuchilla A	30	30.0	14.0
			30.0	14.8
			30.0	14.5
9:18	Reductor Picadora A	29.5	30.0	14.4
			30.0	14.4
			8.0	4.7
			8.0	4.5
9:30	Rodamientos A	29	10.5	4.9
			9.0	4.0
9:38	Tubo 4"	30	9.5	1.7
			9.0	1.3
			8.0	1.0
9:55	Virador B	34.5	12.0	23.6
			12.0	24.5
			8.0	14.8
			8.0	16.9
10:10	Reductor Pre-cuchilla B	28	5.0	5.0
			3.0	4.3
			6.0	4.8
10:18	Reductor Picadora B	27	7.0	4.7
			8.0	4.8
			7.0	4.6
10:22	Rodamientos B	26.5	7.0	13.9
			9.0	16.5
			9.0	16.3
10:30	Reductor Desfibradora B	27	8.0	7.3
			6.0	6.7

Cuadro 115. Medición de caudal del día jueves 15-02-18 (continuación)

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
11:00	Virador A	35	30.0	25.7
			30.0	24.5
			30.0	26.5
11:07	Reductor Pre-cuchilla A	31	30.0	14.2
			30.0	15.3
			30.0	14.8
11:13	Reductor Picadora A	31	9.5	5.6
			8.0	4.6
			11.0	5.8
11:16	Rodamientos A	30	6.5	2.6
			8.0	3.2
			5.5	2.5
11:18	Tubo 4"	31	10.6	1.7
			7.8	1.4
			7.5	1.3
11:21	Virador B	34.5	6.5	13.6
			7.0	14.3
			6.8	14.2
11:31	Reductor Pre-cuchilla B	29	5.0	5.0
			4.5	5.2
			4.0	4.4
11:35	Reductor Picadora B	31	6.3	4.1
			6.8	4.8
			6.2	4.4
11:38	Rodamientos B	27	7.5	13.8
			7.6	14.4
			7.2	14.7
11:41	Reductor Desfibradora B	28	7.0	10.7
			5.7	8.0
			6.0	9.6

Cuadro 116. Medición de caudal del día jueves 15-02-18 (con.)

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
12:50	Virador A	37	30.0	25.1
			30.0	26.4
			30.0	25.5
12:57	Reductor Pre-cuchilla A	32	7.0	3.7
			8.0	4.2
			8.0	3.9
			8.5	4.4
13:02	Reductor Picadora A	31	9.0	5.6
			10.6	5.7
			10.6	5.8
13:05	Rodamientos A	31	4.0	1.9
			6.0	2.3
			6.9	3.4
13:11	Tubo 4"	32	10.0	1.8
			5.0	1.0
			8.4	1.7
13:09	Virador B	37	7.0	14.9
			7.2	15.3
			7.0	15.8
13:17	Reductor Pre-cuchilla B	30	4.0	4.6
			3.7	3.9
			3.9	4.3
13:20	Reductor Picadora B	29.5	6.8	4.6
			7.5	5.1
			7.0	5.2
13:24	Rodamientos B	28	7.0	14.2
			7.5	15.4
			7.8	16.0
13:26	Reductor Desfibradora B	28	8.5	8.1
			9.5	8.5
			8.3	8.1

Cuadro 117. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
8:05	Virador A	29	7.0	10.4
			7.0	9.7
			7.0	9.7
8:19	Reductor Pre-cuchilla A	31	30.0	15.5
			30.0	15.1
			30.0	15.9
8:26	Reductor Picadora A	31	6.0	4.0
			8.0	4.9
			6.8	4.0
8:30	Rodamientos A	29.5	6.8	3.2
			6.5	2.9
			6.0	2.7
8:35	Rodamientos desfibradora A	30.5	5.5	4.3
			5.0	3.9
			5.0	3.6
8:40	Tubo 4"	30	9.0	1.2
			8.2	1.4
			8.0	1.2
			8.6	1.7
			6.5	1.4
8:45	Virador B	32.5	5.0	8.8
			8.2	13.6
			6.0	10.5
9:03	Reductor Pre-cuchilla B	27	6.0	3.6
			5.8	3.5
			5.3	3.1
9:22	Reductor Picadora B	28	30.0	13.5
			30.0	13.6
			30.0	13.5
9:30	Rodamientos B	27	9.0	11.0
			9.8	11.8
			9.5	11.5
9:35	Reductor Desfibradora B	27	12.0	5.0
			11.0	5.5
			8.0	3.6
			7.0	3.3

Cuadro 118. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18 (cont.)

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
10:00	Virador A	30	7.9	8.4
			8.0	8.1
			8.0	8.3
10:05	Reductor Pre-cuchilla A	32	30.0	15.4
			30.0	15.0
			30.0	15.2
10:08	Reductor Picadora A	30	6.8	4.1
			8.0	4.4
			9.0	5.6
10:12	Rodamientos A	31	6.5	3.2
			8.5	4.6
			10.0	5.2
10:20	Rodamientos desfibradora A	31	7.0	5.2
			8.8	6.4
			7.0	5.1
10:25	Tubo 4"	30.5	8.5	1.5
			7.2	1.4
			8.8	1.2
			7.3	1.0
			6.2	1.0
10:18	Virador B	33	6.5	11.2
			7.3	12.6
			6.7	11.5
10:28	Reductor Pre-cuchilla B	27.5	6.8	4.2
			8.0	4.5
			8.0	4.9
10:32	Reductor Picadora B	27	30.0	10.1
			30.0	11.4
			30.0	11.1
10:35	Rodamientos B	27	8.2	10.2
			8.8	10.4
			8.3	10.0
10:38	Reductor Desfibradora B	27	8.2	4.0
			7.5	4.0
			8.0	3.7
			8.5	4.2

Cuadro 119. Medición de caudal del día miércoles 07-03-18 (cont.)

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
12:48	Virador A	32	6.0	8.2
			6.0	8.2
			6.0	8.5
12:52	Reductor Pre-cuchilla A	33	30.0	16.6
			30.0	14.9
			30.0	15.0
12:55	Reductor Picadora A	33	8.6	5.2
			9.2	5.3
			8.6	5.1
12:57	Rodamientos A	30.5	7.0	3.6
			8.3	4.1
			7.0	3.7
13:00	Rodamientos desfibradora A	32	7.3	5.4
			7.5	5.5
			6.6	4.7
13:05	Tubo 4"	31	5.0	1.1
			7.0	1.1
			7.6	1.2
			7.0	1.1
13:15	Virador B	35	7.0	12.6
			7.0	12.1
			7.3	12.1
13:20	Reductor Pre-cuchilla B	29	6.2	3.8
			6.6	4.1
			7.9	4.6
			6.8	4.0
13:25	Reductor Picadora B	30	30.0	9.4
			30.0	9.9
			30.0	10.0
13:30	Rodamientos B	29	7.5	9.2
			7.2	9.1
			7.2	8.7
13:33	Reductor Desfibradora B	28	8.0	4.4
			9.2	4.4
			10.0	5.6
			8.5	4.4

Cuadro 120. Medición de caudal del día sábado 07-04-18

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
-	Virador A	-	- - -	- - -
10:46	Reductor Pre-cuchilla A	31	30.0 30.0 30.0	11.6 11.6 11.4
10:52	Reductor Picadora A	31.5	6.0 7.0 7.0 6.8	2.8 3.4 3.4 3.1
10:54	Rodamientos A	30	5.0 5.0 3.1 3.9	2.0 2.1 1.3 1.6
10:58	Rodamientos desfibradora A	30	4.0 3.9 3.8	2.3 2.1 2.2
11:00	Tubo 4"	30	8.0 7.3 9.1 9.5 8.9 9.0	1.1 1.1 1.2 1.3 1.1 1.2
11:22	Virador B	27	5.8 6.0 5.9 5.5	9.7 10.1 10.1 9.5
11:55	Reductor Pre-cuchilla B	27	5.0 6.0 6.2 6.5	3.8 5.0 4.9 4.8
11:27	Reductor Picadora B	26	30.0 30.0 30.0	11.9 11.9 13.1
11:49	Rodamientos B	26	6.5 4.5 5.5 4.3	16.4 11.0 13.8 10.8
11:43	Reductor Desfibradora B	27	6.5 5.0 3.0 5.2	5.1 3.5 2.2 3.7

Cuadro 121. Medición de caudal del día sábado 07-04-18 (cont.)

Hora	Equipo	Temperatura (ºC)	Volumen (L)	Tiempo (s)
-	Virador A	-	-	-
			-	-
			-	-
13:05	Reductor Pre-cuchilla A	32	30.0	11.6
			30.0	11.1
			30.0	11.8
13:16	Reductor Picadora A	32	6.9	3.4
			8.2	4.0
			7.5	3.7
			7.4	3.6
13:21	Rodamientos A	32	4.3	2.0
			5.2	2.4
			5.9	2.6
			7.0	3.2
13:26	Rodamientos desfibradora A	32	3.8	2.3
			6.1	3.7
			5.0	3.0
			5.7	3.6
13:09	Tubo 4"	32	7.6	1.1
			8.0	1.0
			7.8	1.0
			7.3	1.1
			6.5	0.8
			6.5	0.9
13:40	Virador B	39	6.2	11.3
			5.9	11.3
			5.9	11.1
			5.2	9.9
14:20	Reductor Pre-cuchilla B	29	5.8	5.4
			7.5	7.1
			5.0	4.6
			5.5	4.9
13:48	Reductor Picadora B	31	30.0	30.3
			30.0	30.4
			30.0	30.5
14:05	Rodamientos B	29	5.3	14.4
			5.0	14.0
			5.1	13.9
-	Reductor Desfibradora B	-	-	-
			-	-
			-	-
			-	-

Cuadro 122. Medición de propiedades del agua del día 05-04-18 (parte 1)

Equipo	Temperatura (± 0.5 ºC)	pH (±0.01)	Conductividad (± 0.1 µS /cm)	Dureza (± 4.5 ppm)	Salinidad (± 0.1 ppm)
Virador A	39.0	8.09	211.0	125.0	97.5
Red. Pre-cuchilla	27.0	8.43	210.0	125.0	96.9
Red. Picadora A	26.0	8.41	209.0	125.0	96.8
Rodamientos A	25.0	8.42	214.0	125.0	98.7
Rodamientos desfibradora A	25.5	8.20	214.0	125.0	98.2
Reductor desfibradora A	27.0	8.22	211.0	129.4	95.0
Virador B	30.0	8.27	180.2	116.0	83.5
Red. Pre-chuchilla B	23.0	8.44	179.3	116.0	82.0
Red. Picadora B	24.0	8.45	179.2	120.5	81.4
Rodamientos B	22.5	8.38	179.5	116.0	82.2
Red. Desfibradora B	22.5	8.35	180.3	116.0	82.2

Cuadro 123. Medición de propiedades del agua del día 05-04-18 (parte 2)

Equipo	Temperatura (± 0.5 ºC)	pH (±0.01)	Conductividad (± 0.1 µS /cm)	Dureza (± 4.5 ppm)	Salinidad (± 0.1 ppm)
Virador A	29.0	8.17	222.0	125.0	105.0
Red. Pre-cuchilla	29.0	8.26	228.0	122.3	104.0
Red. Picadora A	29.0	8.23	232.0	124.1	106.0
3 Rodamientos A	27.0	8.26	229.0	124.1	105.0
Rodamientos desfibradora A	27.0	8.25	229.0	124.1	105.0
Reductor desfibradora A	29.0	8.22	194.8	121.4	89.3
Virador B	33.0	8.34	208.0	120.5	95.2
Red. Pre-chuchilla B	28.0	8.33	207.0	119.6	95.1
Red. Picadora B	28.0	8.29	208.0	118.7	95.5
Rodamientos B	27.0	8.34	208.0	120.5	95.6
Red. Desfibradora B	28.0	8.39	207.0	119.6	94.9

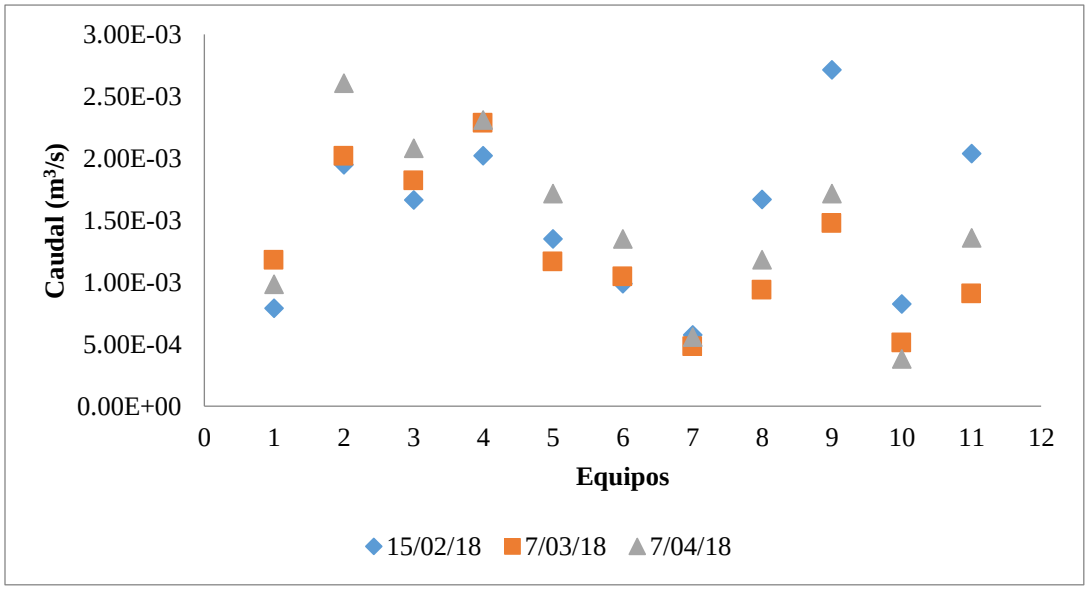
2. Datos calculados intermedios

Cuadro 124. Caudales promedio calculados para cada día de medición

Área	Equipo No.	Nombre del equipo	Caudales promedio (m^3/s)		
			15/02/18	7/03/18	7/04/18
Tándem A	1	Virador A	7.9E-04	1.2E-03	9.8E-04
	2	Reductor Pre-cuchilla A	1.9E-03	2.0E-03	2.6E-03
	3	Reductor Picadora A	1.7E-03	1.8E-03	2.1E-03
	4	Rodamientos A	2.0E-03	2.3E-03	2.3E-03
	5	Rodamientos desfibradora A	1.4E-03	1.2E-03	1.7E-03
	6	Reductor desfibradora	9.9E-04	1.0E-03	1.4E-03
Tándem B	7	Virador B	5.8E-04	4.8E-04	5.6E-04
	8	Reductor Pre-cuchilla B	1.7E-03	9.4E-04	1.2E-03
	9	Reductor Picadora B	2.7E-03	1.5E-03	1.7E-03
	10	Rodamientos B	8.2E-04	5.1E-04	3.8E-04
	11	Reductor desfibradora B	2.0E-03	9.1E-04	1.4E-03

Nota: En este cuadro se presentan los caudales promedio obtenidos en cada día de medición.

Figura 66. Distribución del caudal en cada equipo, durante los tres días de medición



Nota: En esta figura se representan los caudales promedio obtenidos en cada día de medición. Cada número en el eje x representa un equipo. La identificación de los equipos y los datos utilizados para realizar esta figura se muestran en el Cuadro 124(pág. 284).

Figura 67. Esquema del sistema subterráneo de tuberías (tándem A)

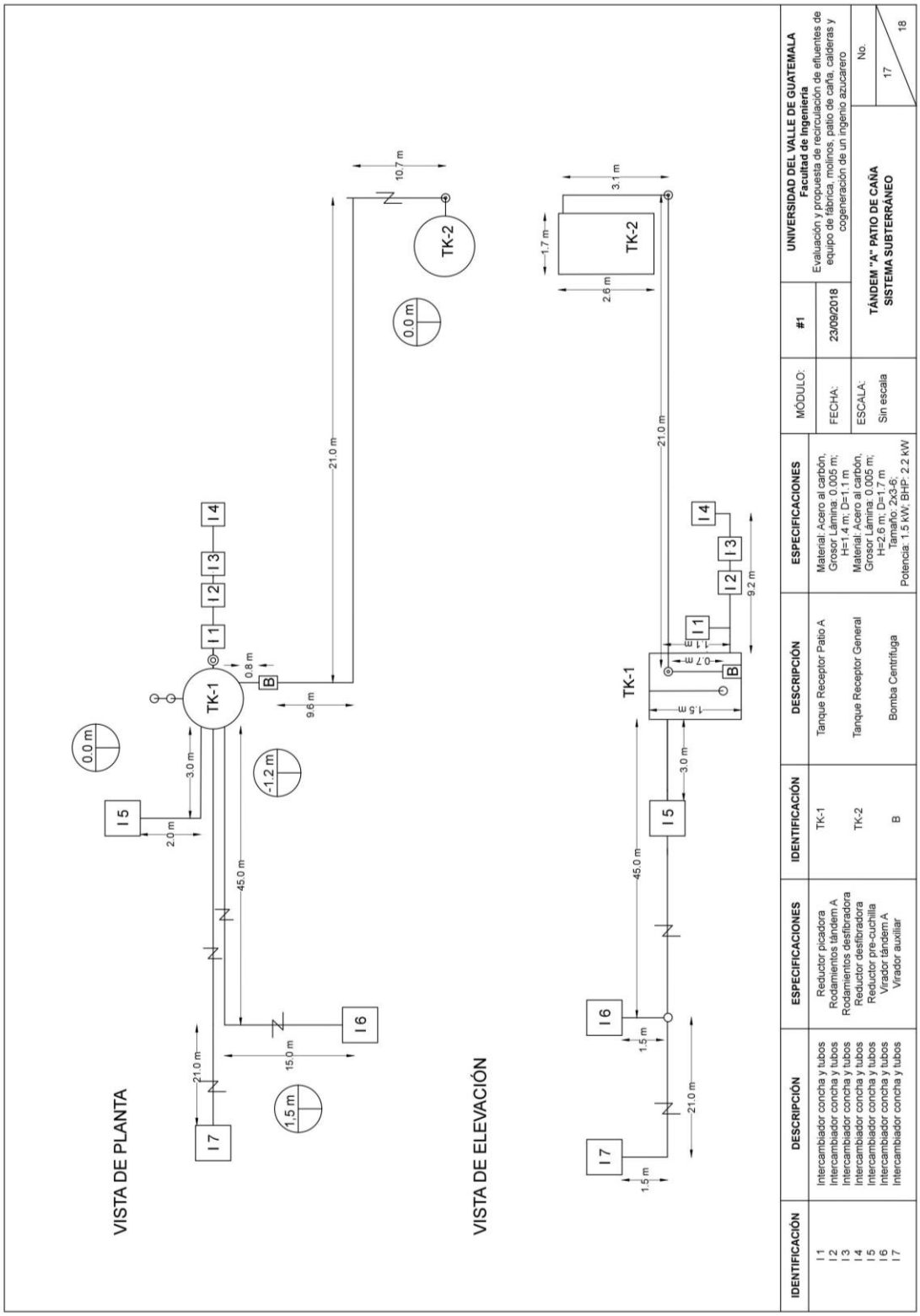
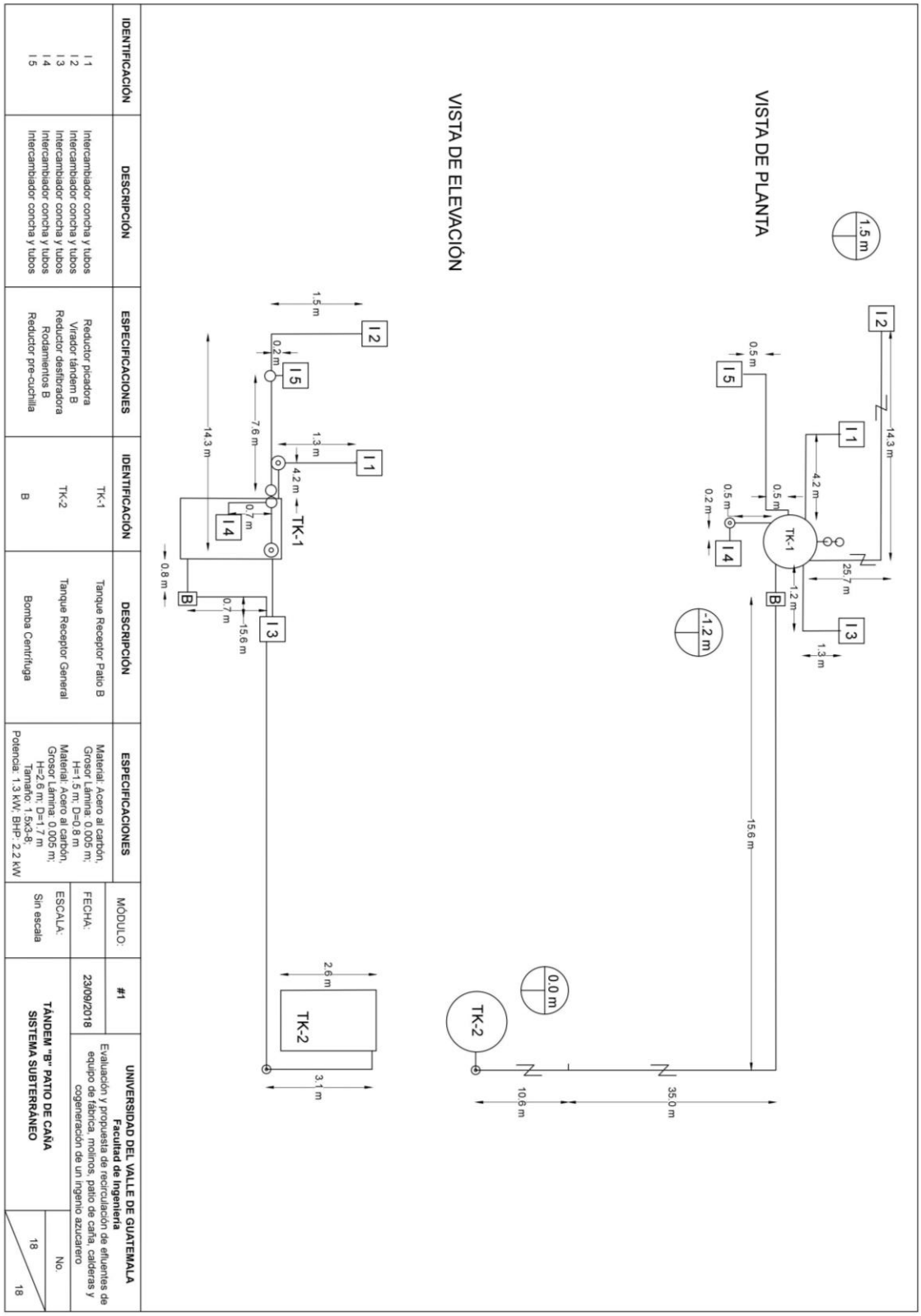


Figura 68. Esquema del sistema subterráneo de tuberías (tándem B)



IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
I 1	Intercambiador concha y tubos	Reductor picadora
I 2	Intercambiador concha y tubos	Virador tándem B
I 3	Intercambiador concha y tubos	Reductor desfibradora
I 4	Intercambiador concha y tubos	Rodamientos B
I 5	Intercambiador concha y tubos	Reductor pre-cuchilla

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
TK-1	Tanque Receptor Patio B	Material: Acero al carbón; Grosor Lámina: 0.005 m; H=1.5 m; D=0.8 m
TK-2	Tanque Receptor General	Material: Acero al carbón; Grosor Lámina: 0.005 m; H=2.6 m; D=1.7 m
B	Bomba Centrífuga	Tamaño: 1.5x3-8; Potencia: 1.3 KW; BHP: 2.2 KW

MÓDULO:	#1
FECHA:	23/09/2018
ESCALA:	Sin escala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Evaluación y propuesta de recirculación de efluentes de equipo de fábrica, molinos, patio de caña, calderas y cogeneración de un ingenio azucarero

TÁNDEM "B" PATIO DE CAÑA
SISTEMA SUBTERRÁNEO

No.
18
18

Cuadro 125. Medición de propiedades de las fuentes de agua

Fecha	Muestra	Temperatura (± 0.5 ºC)	pH (±0.01)	Conductividad (± 0.1 µS /cm)	Salinidad (± 0.1 ppm)	Dureza (± 4.5 ppm)	Hierro (ppm)
2/04/18	Pozo 4	24.0	8.5	335.0	154.0	142.8	
5/04/18		24.0	8.4	331.0	151.0	142.8	
11/04/18							0.02
	Promedio	24.0	8.5	333.0	152.5	142.8	
2/04/18	Pozo Hotel	21.0	7.7	222.0	102.0	177.8	
5/04/18		26.0	7.5	221.0	100.0	124.1	
11/04/18							0.00
	Promedio	23.5	7.6	221.5	101.0	150.9	
2/04/18	Río Provincias	20.5	8.5	185.2	85.7	108.9	
5/04/18		20.0	8.6	164.7	75.0	107.1	
11/04/18							0.18
	Promedio	20.3	8.5	175.0	80.4	108.0	
2/04/18	Tanque Tándem A	25.0	8.5	212.0	97.3	113.4	
5/04/18		25.0	8.3	199.7	92.3	124.1	
11/04/18							0.05
	Promedio	25.0	8.4	205.9	94.8	118.7	
2/04/18	Tanque Tándem B	22.0	8.5	202.0	92.8	109.8	
5/04/18		24.0	8.4	331.0	151.0	142.8	
11/04/18							0.09
	Promedio	23.0	8.4	266.5	121.9	126.3	
2/04/18	Tanque Elevado	25.0	8.1	302.0	139.0	133.9	
5/04/18		25.0	7.9	294.0	134.0	142.8	
11/04/18							0.04
	Promedio	25.0	8.0	298.0	136.5	138.3	
2/04/18	Pozo calderas	22.0	7.7	198.4	91.3	112.5	
5/04/18		28.0	7.4	197.6	90.1	120.5	
11/04/18							0.00
	Promedio	25.0	7.5	198.0	90.7	116.5	

Cuadro 126. Caudales promedio del día jueves 15-02-18

Hora	Equipo	Caudal promedio (10^{-3} m^3/s)	Desviación estándar (10^{-3} m^3/s)
8:50	Virador A	1.2	9.9E-03
9:05	Reductor Pre-cuchilla A	2.1	5.8E-02
9:18	Reductor Picadora A	1.9	2.1E-01
9:30	Rodamientos (3) A	2.2	7.9E-02
9:38	Tubo 4"	7.0	1.2E+00
9:55	Virador B	0.5	2.9E-02
10:10	Reductor Pre-cuchilla B	1.0	2.7E-01
10:18	Reductor Picadora B	1.6	9.3E-02
10:22	Rodamientos B	0.5	2.7E-02
10:30	Reductor Desfibradora B	1.0	1.4E-01
11:00	Virador A	1.2	4.7E-02
11:07	Reductor Pre-cuchilla A	2.0	7.9E-02
11:13	Reductor Picadora A	1.8	1.1E-01
11:16	Rodamientos A	2.4	1.7E-01
11:18	Tubo 4"	6.0	3.5E-01
11:21	Virador B	0.5	5.9E-03
11:31	Reductor Pre-cuchilla B	0.9	6.4E-02
11:35	Reductor Picadora B	1.4	7.0E-02
11:38	Rodamientos B	0.5	2.8E-02
11:41	Reductor Desfibradora B	0.7	4.6E-02
12:50	Virador A	1.2	3.1E-02
12:57	Reductor Pre-cuchilla A	1.9	8.9E-02
13:02	Reductor Picadora A	1.8	1.3E-01
13:05	Rodamientos (3) A	2.3	3.1E-01
13:11	Tubo 4"	5.3	4.4E-01
13:09	Virador B	0.5	1.6E-02
13:17	Reductor Pre-cuchilla B	0.9	3.4E-02
13:20	Reductor Picadora B	1.4	6.3E-02
13:24	Rodamientos B	0.5	3.5E-03
13:26	Reductor Desfibradora B	1.1	5.4E-02

Cuadro 127. Caudales promedio del día miércoles 07-03-18

Hora	Equipo	Caudal promedio (10^{-3} m^3/s)	Desviación estándar (10^{-3} m^3/s)
8:05	Virador A	0.7	2.8E-02
8:19	Reductor Pre-cuchilla A	1.9	5.3E-02
8:26	Reductor Picadora A	1.6	9.0E-02
8:30	Rodamientos A	2.2	5.2E-02
8:35	Rodamientos desfibradora A	1.3	6.0E-02
8:40	Tubo 4"	6.0	1.2E+00
8:45	Virador B	0.6	1.9E-02
9:03	Reductor Pre-cuchilla B	1.7	6.0E-02
9:22	Reductor Picadora B	2.2	1.2E-02
9:30	Rodamientos B	0.8	1.5E-02
9:35	Reductor Desfibradora B	2.2	1.7E-01
10:00	Virador A	1.0	2.1E-02
10:05	Reductor Pre-cuchilla A	2.0	2.9E-02
10:08	Reductor Picadora A	1.7	9.1E-02
10:12	Rodamientos A	1.9	8.4E-02
10:20	Rodamientos desfibradora A	1.4	1.6E-02
10:25	Tubo 4"	6.3	9.4E-01
10:18	Virador B	0.6	1.7E-03
10:28	Reductor Pre-cuchilla B	1.6	1.0E-01
10:32	Reductor Picadora B	2.8	1.6E-01
10:35	Rodamientos B	0.8	1.7E-02
10:38	Reductor Desfibradora B	2.0	1.4E-01
12:48	Virador A	0.7	2.5E-02
12:52	Reductor Pre-cuchilla A	1.9	9.2E-02
12:55	Reductor Picadora A	1.7	2.7E-02
12:57	Rodamientos A	2.0	5.2E-02
13:00	Rodamientos desfibradora A	1.4	2.6E-02
13:05	Tubo 4"	5.8	8.6E-01
13:15	Virador B	0.6	2.0E-02
13:20	Reductor Pre-cuchilla B	1.7	4.1E-02
13:25	Reductor Picadora B	3.1	1.4E-01
13:30	Rodamientos B	0.8	1.3E-02
13:33	Reductor Desfibradora B	1.9	1.3E-01

Cuadro 128. Caudales promedio del día sábado 07-04-18

Hora	Equipo	Caudal promedio (10^{-3} m^3/s)	Desviación estándar (10^{-3} m^3/s)
10:46	Reductor Pre-cuchilla A	2.6	2.7E-02
10:52	Reductor Picadora A	2.1	6.1E-02
10:54	Rodamientos A	2.4	7.7E-02
10:58	Rodamientos desfibradora A	1.8	7.1E-02
11:00	Tubo 4"	7.4	3.4E-01
11:22	Virador B	0.6	9.6E-03
11:55	Reductor Pre-cuchilla B	1.3	6.2E-02
11:27	Reductor Picadora B	2.4	1.3E-01
11:49	Rodamientos B	0.4	5.6E-03
11:43	Reductor Desfibradora B	1.4	7.1E-02
13:05	Reductor Pre-cuchilla A	2.6	7.9E-02
13:16	Reductor Picadora A	2.1	7.3E-03
13:21	Rodamientos A	2.2	5.3E-02
13:26	Rodamientos desfibradora A	1.6	4.6E-02
13:09	Tubo 4"	7.5	5.8E-01
13:40	Virador B	0.5	1.0E-02
14:20	Reductor Pre-cuchilla B	1.1	3.1E-02
13:48	Reductor Picadora B	1.0	3.9E-03
14:05	Rodamientos B	0.4	6.0E-03

Cuadro 129. Caudales promedio obtenidos en los tres días de medición

Sector	Localización	Caudal (m^3/s)	
		Promedio	Desviación estándar
Tándem A	Virador A	9.8E-04	2.3E-04
	Reductor Pre-cuchilla A	2.1E-03	2.9E-04
	Reductor Picadora A	1.8E-03	1.8E-04
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	2.2E-03	1.8E-04
	Rodamientos desfibradora	1.4E-03	2.6E-04
	Reductor desfibradora A	1.1E-03	4.1E-04
Tándem B	Virador B	5.4E-04	5.0E-05
	Reductor Pre-cuchilla B	1.3E-03	3.4E-04
	Reductor Picadora B	2.0E-03	7.6E-04
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	6.0E-04	2.0E-04
	Reductor desfibradora B	1.5E-03	5.8E-04

Cuadro 130. pH promedio de los dos días de medición

Sector	Equipo	pH			
		24/03/18	5/04/18	Promedio	Desviación estándar
Tándem A	Virador A	8.17	8.09	8.13	0.06
	Reductor Pre-cuchilla A	8.26	8.43	8.345	0.12
	Reductor Picadora A	8.23	8.41	8.32	0.13
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	8.26	8.42	8.34	0.11
	Rodamientos desfibradora	8.25	8.2	8.225	0.04
	Reductor desfibradora A	8.22	8.22	8.22	0.00
Tándem B	Virador B	8.34	8.27	8.305	0.05
	Reductor Pre-cuchilla B	8.33	8.44	8.385	0.08
	Reductor Picadora B	8.29	8.45	8.37	0.11
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	8.34	8.38	8.36	0.03
	Reductor desfibradora B	8.39	8.35	8.37	0.03

Cuadro 131. Conductividad promedio de los dos días de medición

Sector	Equipo	Conductividad (µS)			
		24/03/18	5/04/18	Promedio	Desviación estándar
Tándem A	Virador A	211.00	222.00	216.50	7.78
	Reductor Pre-cuchilla A	210.00	228.00	219.00	12.73
	Reductor Picadora A	209.00	232.00	220.50	16.26
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	214.00	229.00	221.50	10.61
	Rodamientos desfibradora	214.00	229.00	221.50	10.61
	Reductor desfibradora A	211.00	194.80	202.90	11.46
Tándem B	Virador B	180.20	208.00	194.10	19.66
	Reductor Pre-cuchilla B	179.30	207.00	193.15	19.59
	Reductor Picadora B	179.20	208.00	193.60	20.36
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	179.50	208.00	193.75	20.15
	Reductor desfibradora B	180.30	207.00	193.65	18.88

Cuadro 132. Dureza promedio de los dos días de medición

Sector	Equipo	Dureza (ppm CaCO3)			
		24/03/18	5/04/18	Promedio	Desviación estándar
Tándem A	Virador A	124.95	124.95	124.95	0.00
	Reductor Pre-cuchilla A	124.95	122.27	123.61	1.90
	Reductor Picadora A	124.95	124.05	124.50	0.64
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	124.95	124.05	124.50	0.64
	Rodamientos desfibradora	124.95	124.05	124.50	0.64
	Reductor desfibradora A	129.41	121.38	125.40	5.68
Tándem B	Virador B	116.02	120.49	118.26	3.16
	Reductor Pre-cuchilla B	116.02	119.60	117.81	2.53
	Reductor Picadora B	120.48	118.70	119.59	1.26
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	116.02	120.49	118.26	3.16
	Reductor desfibradora B	116.02	119.60	117.81	2.53

Cuadro 133. Salinidad promedio de los dos días de medición

Sector	Equipo	Salinidad (ppm)			
		24/03/18	5/04/18	Promedio	Desviación estándar
Tándem A	Virador A	97.50	105.00	101.25	5.30
	Reductor Pre-cuchilla A	96.90	104.00	100.45	5.02
	Reductor Picadora A	96.80	106.00	101.40	6.51
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	98.70	105.00	101.85	4.45
	Rodamientos desfibradora	98.20	105.00	101.60	4.81
	Reductor desfibradora A	95.00	89.30	92.15	4.03
Tándem B	Virador B	83.50	95.20	89.35	8.27
	Reductor Pre-cuchilla B	82.00	95.10	88.55	9.26
	Reductor Picadora B	81.40	95.50	88.45	9.97
	Rodamientos troceadora, picadora y pre-cuchilla	82.20	95.60	88.90	9.48
	Reductor desfibradora B	82.20	94.90	88.55	8.98

Cuadro 134. Diámetros calculados de tuberías para sistema aéreo

Tándem	Clave	Caudal promedio		Velocidad		Diámetro interno		Diámetros en tuberías st.	
		(gal/min)	(m^3/s)	(ft/s)	(m/s)	(m)	(in)	DN (m)	DI real (m)
B	PB-1	31.7	0.002	6	1.8	0.04	1.47	0.04	0.04
	PB-2	8.5	0.001	7	2.1	0.02	0.71	0.02	0.02
	PB-3	23.1	0.001	7	2.1	0.03	1.16	0.03	0.04
	PB-4	9.5	0.001	8	2.4	0.02	0.7	0.02	0.02
	PB-5	20.2	0.001	6	1.8	0.03	1.17	0.03	0.04
	PB-6	93	0.006	7	2.1	0.06	2.33	0.06	0.06
A	PA-1	103	0.006	7	2.1	0.06	2.45	0.06	0.06
	PA-2	33.9	0.002	5	1.5	0.04	1.66	0.04	0.04
	PA-3	15.6	0.001	5	1.5	0.03	1.13	0.03	0.03
	PA-4	15.6	0.001	5	1.5	0.03	1.13	0.03	0.03
	PA-5	152.5	0.01	5	1.5	0.09	3.53	0.09	0.09
Tubería común	PA-7	245.6	0.015	6	1.8	0.1	4.09	0.10	0.10

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular los diámetros de cada tubería y las velocidades del agua en el sistema aéreo.

Cuadro 135. Tuberías instaladas y tuberías de diseño para sistema aéreo

Tándem	Clave	Tuberías ya instaladas			Tubería final a utilizar				N_{Re}
		DN (m)	DI (m)	Vel. (m/s)	DN (m)	DI (m)	Vel. (m/s)	$P_{máx}$ (MPa)	
B	PB-1	0.04	0.04	1.52	0.04	0.04	1.52	19.40	68941
	PB-2	0.04	0.04	0.40	0.02	0.02	1.55	28.10	36180
	PB-3	0.03	0.03	2.62	0.03	0.04	1.52	21.60	58509
	PB-4	0.03	0.03	1.07	0.02	0.02	1.74	28.10	40207
	PB-5	0.03	0.03	2.29	0.03	0.03	2.29	26.30	67441
	PB-6	N/A	N/A	N/A	0.06	0.06	1.89	17.90	131805
A	PA-1	0.10	0.10	0.79	0.06	0.06	2.10	17.90	145911
	PA-2	0.03	0.03	3.84	0.04	0.04	1.62	19.40	73689
	PA-3	0.04	0.04	0.76	0.03	0.03	1.77	26.30	52039
	PA-4	0.04	0.04	0.76	0.03	0.03	1.77	26.30	52039
	PA-5	N/A	N/A	N/A	0.09	0.09	1.49	15.60	150361
Tubería común	PA-7	N/A	N/A	N/A	0.10	0.10	1.89	13.20	213340

Nota: En este cuadro se comparan los diámetros de cada tubería y las velocidades del agua en las tuberías instaladas en el ingenio con los diámetros y velocidades del sistema propuesto.

Cuadro 136. Longitud equivalente por codos y uniones T para sistema aeéro

Tándem	Clave	Codos			T's		
		Codos 90º	Longitud eq. por 1 codo (m eq)	m eq por codos totales	T’s	Longitud eq. por 1 T (m eq)	m eq por T's totales
B	PB-1	2	1.3	2.7	0	1.9	0.0
	PB-2	2	0.7	1.3	0	0.9	0.0
	PB-3	2	1.1	2.2	0	1.6	0.0
	PB-4	2	0.7	1.3	0	0.9	0.0
	PB-5	4	0.9	3.6	0	1.3	0.0
	PB-6	9	2.2	20.0	4	3.2	12.7
A	PA-1	2	2.2	4.5	0	3.2	0.0
	PA-2	1	1.3	1.3	0	1.9	0.0
	PA-3	1	0.9	0.9	0	1.3	0.0
	PA-4	1	0.9	0.9	0	1.3	0.0
	PA-5	4	3.1	12.4	2	5.1	20.3
Tubería común	PA-7	5	3.6	17.8	4	0.0	0.0

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las longitudes equivalentes de los codos y uniones T en el sistema aéreo de tuberías.

Cuadro 137. Longitud equivalente por válvulas para sistema aeéro

Tándem	Clave	Válvulas								
		Cantidad			Longitud equivalente por 1 válvula (m)			Longitud equivalente total (m)		
		Globo	Cheque	Compuerta	Globo	Cheque	Compuerta	Globo	Cheque	Compuerta
B	PB-1	0	0	0	11.4	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0
	PB-2	0	0	0	5.7	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-3	0	0	0	9.5	3.2	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-4	0	0	0	5.7	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-5	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-6	1	1	1	19.1	6.3	0.5	19.1	6.3	0.5
A	PA-1	0	0	0	19.1	6.3	0.5	0.0	0.0	0.0
	PA-2	0	0	0	11.4	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0
	PA-3	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PA-4	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PA-5	1	1	1	26.7	8.9	0.7	26.7	8.9	0.7
Tubería común	PA-7	0	0	0	30.5	10.2	0.8	0.0	0.0	0.0

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las longitudes equivalentes de las válvulas en el sistema aéreo de tuberías.

Cuadro 138. Contracciones y expansiones para sistema aeéro

Tándem	Clave	Contracciones y expansiones			
		Cantidad de contracciones	Cantidad de expansiones	hf contracción (m)	hf expansión (m)
B	PB-1	0	0	0.00	0.00
	PB-2	1	0	0.05	0.00
	PB-3	0	1	0.00	0.04
	PB-4	1	0	0.03	0.00
	PB-5	0	0	0.00	0.00
	PB-6	0	2	0.00	0.35
A	PA-1	0	0	0.00	0.00
	PA-2	0	1	0.00	0.18
	PA-3	1	0	0.04	0.00
	PA-4	1	0	0.04	0.00
	PA-5	1	2	0.02	0.22
Tubería común	PA-7	0	0	0.00	0.00

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las pérdidas por fricción ocasionadas por contracciones y expansiones en el sistema aéreo de tuberías.

Cuadro 139. Longitudes equivalentes totales para sistema aeéro

Tándem	Clave	Longitud del trayecto		Longitud equivalente (m)			Longitud total (m)
		(m)	(ft)	Por codos	Por válvulas	Por T's	
B	PB-1	8.5	27.9	2.7	0.0	0.0	11.2
	PB-2	41.5	136.1	1.3	0.0	0.0	42.8
	PB-3	2.5	8.2	2.2	0.0	0.0	4.7
	PB-4	1.4	4.6	1.3	0.0	0.0	2.7
	PB-5	8.8	28.9	3.6	0.0	0.0	12.3
	PB-6	44.9	147.3	20.0	25.9	12.7	103.5
A	PA-1	10.8	35.4	4.5	0.0	0.0	15.2
	PA-2	5	16.4	1.3	0.0	0.0	6.3
	PA-3	67.5	221.4	0.9	0.0	0.0	68.4
	PA-4	61.5	201.7	0.9	0.0	0.0	62.4
	PA-5	28.8	94.5	12.4	36.3	20.3	97.9
Tubería común	PA-7	29.2	95.8	17.8	0.0	0.0	47.0

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular la longitud equivalente y longitud total del sistema aéreo de tuberías.

Cuadro 140. Cabezas totales para sistema aeéro

Tándem	Clave	Cabeza dinámica			Bernoulli para tuberías sin bomba		Bernoulli para bomba
		Caída de presión (m por 30 m)	Caída de presión con longitud eq (m)	Caída de presión total (m)	P_a (Pa)	% de $P_{máx}$	W/g (m) cabeza total
B	PB-1	2.1	0.8	0.8	94979	0.49%	-
	PB-2	4.6	6.5	6.5	151887	0.54%	-
	PB-3	2.9	0.5	0.5	102866	0.48%	-
	PB-4	7.0	0.6	0.7	116206	0.41%	-
	PB-5	7.7	3.1	3.1	131386	0.50%	-
	PB-6	2.0	6.6	8.8	-	-	14.3
A	PA-1	2.2	1.1	1.1	135953	0.76%	-
	PA-2	2.4	0.5	0.7	102706	0.53%	-
	PA-3	5.0	11.3	11.3	192053	0.73%	-
	PA-4	5.0	10.3	10.3	182385	0.69%	-
	PA-5	0.9	3.0	5.1	-	-	9.8
Tubería común	PA-7	1.2	1.8	1.8	-	-	-

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular la cabeza total de las bombas en el sistema aéreo.

Cuadro 141. NPSH disponible sistema aéreo

Tándem	Bomba	NPSH requerido (m)	NPSH disponible (m)
B	1.5x3-8	0.8	9.11
A	2x3-6	1.4	9.32

Nota: En este cuadro se presentan los valores de NPSH disponibles y requeridos en el sistema aéreo de tuberías.

Cuadro 142. Especificaciones de las bombas para el sistema aéreo

Parámetro	Bomba Tándem A	Bomba Tándem B
Caudal	0.01 m^3/s (152 gal/min)	0.006 m^3/s (93 gal/min)
Cabeza	9.8 m (32.1 ft)	14.3 m (46.9 ft)
Potencia del motor	2.2 kW (3 HP)	2.2 kW (3 HP)
Potencia de la bomba	1.5 kW	1.3 kW
Eficiencia	68.00%	57.30%
NPSH requerido	1.3 m (4.2 ft)	0.8 m (2.6 ft)
Modelo	3196 Sti	3196 Sti
Tamaño	2x3-6	1.5x3-8
Diámetro de succión	0.07 m (3 in)	0.07 m (3 in)
Diámetro de descarga	0.05 m (2 in)	0.04 m (1.5 in)
Velocidad	1750 rpm	1750 rpm
Material del impulsor	Acero al carbón	Acero al carbón
Material de la carcasa	Acero al carbón	Acero al carbón

Nota: En este cuadro se presentan las especificaciones de las bombas cotizadas en Goulds Pumps.

Cuadro 143. Diámetros calculados para el sistema de tuberías subterráneo

Tándem	Clave	Caudal promedio		Velocidad		Diámetro interno		Diámetros en tuberías st.	
		(gal/min)	(m^3/s)	(ft/s)	(m/s)	(m)	(in)	DN (m)	DI real (m)
B	PB-1	31.7	0.002	6	1.8	0.04	1.47	0.04	0.04
	PB-2	8.5	0.001	7	2.1	0.02	0.71	0.02	0.02
	PB-3	23.1	0.001	7	2.1	0.03	1.16	0.03	0.04
	PB-4	9.5	0.001	8	2.4	0.02	0.7	0.02	0.02
	PB-5	20.2	0.001	6	1.8	0.03	1.17	0.03	0.04
	PB-6	93	0.006	7	2.1	0.06	2.33	0.06	0.06
A	PA-1	103	0.006	7	2.1	0.06	2.45	0.06	0.06
	PA-2	33.9	0.002	5	1.5	0.04	1.66	0.04	0.04
	PA-3	15.6	0.001	5	1.5	0.03	1.13	0.03	0.03
	PA-4	15.6	0.001	5	1.5	0.03	1.13	0.03	0.03
	PA-5	152.5	0.01	5	1.5	0.09	3.53	0.09	0.09
Tubería común	PA-7	245.6	0.015	6	1.8	0.1	4.09	0.10	0.10

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular los diámetros de cada tubería y las velocidades del agua en el sistema subterráneo.

Cuadro 144. Tuberías instaladas y tuberías de diseño para el sistema subterráneo

Tándem	Clave	Tuberías ya instaladas			Tubería final a utilizar				N_{Re}
		DN (m)	DI (m)	Vel. (m/s)	DN (m)	DI (m)	Vel. (m/s)	$P_{máx}$ (MPa)	
B	PB-1	0.04	0.04	1.52	0.04	0.04	1.52	19.40	68941
	PB-2	0.04	0.04	0.40	0.02	0.02	1.55	28.10	36180
	PB-3	0.03	0.03	2.62	0.03	0.04	1.52	21.60	58509
	PB-4	0.03	0.03	1.07	0.02	0.02	1.74	28.10	40207
	PB-5	0.03	0.03	2.29	0.03	0.03	2.29	26.30	67441
	PB-6	N/A	N/A	N/A	0.06	0.06	1.89	17.90	131805
A	PA-1	0.10	0.10	0.79	0.06	0.06	2.10	17.90	145911
	PA-2	0.03	0.03	3.84	0.04	0.04	1.62	19.40	73689
	PA-3	0.04	0.04	0.76	0.03	0.03	1.77	26.30	52039
	PA-4	0.04	0.04	0.76	0.03	0.03	1.77	26.30	52039
	PA-5	N/A	N/A	N/A	0.09	0.09	1.49	15.60	150361
Tubería común	PA-7	N/A	N/A	N/A	0.10	0.10	1.89	13.20	213340

Nota: En este cuadro se comparan los diámetros de cada tubería y las velocidades del agua en las tuberías instaladas en el ingenio con los diámetros y velocidades del sistema propuesto.

Cuadro 145. Longitud equivalente por codos y uniones T para sistema subterráneo

Tándem	Clave	Codos			Uniones T		
		Codos 90º	Longitud eq. por 1 codo (m eq)	m eq por codos totales	T	Longitud eq. por 1 T (m eq)	m eq por T totales
B	PB-1	2	1.3	2.7	0	1.9	0.0
	PB-2	2	0.7	2.7	0	0.9	0.0
	PB-3	2	1.1	2.2	0	1.6	0.0
	PB-4	2	0.7	2.0	0	0.9	0.0
	PB-5	4	0.9	3.6	0	1.3	0.0
	PB-6	9	2.2	6.7	4	3.2	12.7
A	PA-1	2	2.2	6.7	0	3.2	0.0
	PA-2	1	1.3	2.7	0	1.9	0.0
	PA-3	1	0.9	1.8	0	1.3	0.0
	PA-4	1	0.9	2.7	0	1.3	0.0
	PA-5	4	3.1	12.4	2	5.1	20.3
Tubería común	PA-7	5	3.6	3.6	4	0.0	0.0

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las longitudes equivalentes de los codos y uniones T en el sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 146. Longitud equivalente por válvulas para sistema subterráneo

Tándem	Clave	Válvulas								
		Cantidad			Longitud equivalente por 1 válvula (m)			Longitud equivalente total (m)		
		Globo	Cheque	Compuerta	Globo	Cheque	Compuerta	Globo	Cheque	Compuerta
B	PB-1	0	0	0	11.4	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0
	PB-2	0	0	0	5.7	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-3	0	0	0	9.5	3.2	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-4	0	0	0	5.7	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-5	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PB-6	1	1	1	19.1	6.3	0.5	19.1	6.3	0.5
A	PA-1	0	0	0	19.1	6.3	0.5	0.0	0.0	0.0
	PA-2	0	0	0	11.4	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0
	PA-3	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PA-4	0	0	0	7.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0
	PA-5	1	1	1	26.7	8.9	0.7	26.7	8.9	0.7
Tubería común	PA-7	0	0	0	30.5	10.2	0.8	0.0	0.0	0.0

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las longitudes equivalentes de las válvulas en el sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 147. Contracciones y expansiones para sistema subterráneo

Tándem	Clave	Contracciones y expansiones			
		Cantidad de contracciones	Cantidad de expansiones	hf contracción (m)	hf expansión (m)
B	PB-1	0	0	0.00	0.00
	PB-2	1	0	0.05	0.00
	PB-3	0	1	0.00	0.04
	PB-4	1	0	0.03	0.00
	PB-5	0	0	0.00	0.00
	PB-6	0	2	0.00	0.35
A	PA-1	0	0	0.00	0.00
	PA-2	0	1	0.00	0.18
	PA-3	1	0	0.04	0.00
	PA-4	1	0	0.04	0.00
	PA-5	1	2	0.02	0.22
Tubería común	PA-7	0	0	0.00	0.00

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular las pérdidas por fricción ocasionadas por contracciones y expansiones en el sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 148. Longitudes equivalentes totales para sistema subterráneo

Tándem	Clave	Longitud del trayecto		Longitud equivalente (m)			Longitud total (m)
		(m)	(ft)	Por codos	Por válvulas	Por T's	
B	PB-1	8.5	27.9	2.7	0.0	0.0	11.2
	PB-2	41.5	136.1	2.7	0.0	0.0	44.2
	PB-3	2.5	8.2	2.2	0.0	0.0	4.7
	PB-4	1.4	4.6	2.0	0.0	0.0	3.4
	PB-5	8.8	28.9	3.6	0.0	0.0	12.3
	PB-6	44.9	147.3	6.7	25.9	12.7	97.4
A	PA-1	10.8	35.4	6.7	0.0	0.0	17.5
	PA-2	5	16.4	2.7	0.0	0.0	7.7
	PA-3	67.5	221.4	1.8	0.0	0.0	69.3
	PA-4	61.5	201.7	2.7	0.0	0.0	64.2
	PA-5	28.8	94.5	12.4	36.3	20.3	100.5
Tubería común	PA-7	29.2	95.8	3.6	0.0	0.0	17.3

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular la longitud equivalente y longitud total del sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 149. Cabezas totales para sistema subterráneo

Tándem	Clave	Cabeza dinámica			Bernoulli para bomba
		Caída de presión (m por 30 m)	Caída de presión con longitud eq (m)	Caída de presión total (m)	W/g (m) cabeza total
B	PB-1	2.1	0.8	0.8	-
	PB-2	4.6	6.7	6.7	-
	PB-3	2.9	0.5	0.5	-
	PB-4	7.0	0.8	0.8	-
	PB-5	7.7	3.1	3.1	-
	PB-6	2.0	6.3	7.3	12.7
A	PA-1	2.2	1.3	1.2	-
	PA-2	2.4	0.6	0.8	-
	PA-3	5.0	11.4	11.5	-
	PA-4	5.0	10.6	10.6	-
	PA-5	0.9	3.1	4	9.5
Tubería común	PA-7	1.2	0.7	0.7	-

Nota: En este cuadro se presentan los datos intermedios utilizados para calcular la cabeza total de las bombas en el sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 150. NPSH disponible sistema subterráneo

Tándem	Bomba	NPSH requerido (m)	NPSH disponible (m)
B	1.5x3-8	0.8	9.11
A	2x3-6	1.4	9.32

Nota: En este cuadro se presentan los valores de NPSH disponibles y requeridos en el sistema subterráneo de tuberías.

Cuadro 151. Especificaciones de las bombas para el sistema subterráneo

Parámetro	Bomba Tándem A	Bomba Tándem B
Caudal	0.01 m^3/s (152 gal/min)	0.006 m^3/s (93 gal/min)
Cabeza	9.5 m (31.2 ft)	12.7 m (41.6 ft)
Potencia del motor	2.2 kW (3 HP)	2.2 kW (3 HP)
Potencia de la bomba	1.5 kW	1.3 kW
Eficiencia	67.30%	57%
NPSH requerido	1.4 m (4.5 ft)	0.8 m (2.6 ft)
Modelo	3196 Sti	3196 Sti
Tamaño	2x3-6	1.5x3-8
Diámetro de succión	0.07 m (3 in)	0.07 m (3 in)
Diámetro de descarga	0.05 m (2 in)	0.04 m (1.5 in)
Velocidad	1750 rpm	1750 rpm
Material del impulsor	Acero al carbón	Acero al carbón
Material de la carcasa	Acero al carbón	Acero al carbón

Nota: En este cuadro se presentan las especificaciones de las bombas cotizadas en Goulds Pumps.

Cuadro 152. Especificaciones de las bombas utilizadas en el diseño de tanques

Bomba	4x16-10H		2x3-6		1.5x3-8	
	(in)	(m)	(in)	(m)	(in)	(m)
Diámetro de la tubería	6	0.2	3.5	0.1	2.5	0.1
Altura requerida de la base	4.12	0.1	2.69	0.1	2.69	0.1
Altura de la base al centro de la succión	10	0.3	5.25	0.1	5.25	0.1
Altura de la base al BCL	7	0.2	3.5	0.1	4	0.1
Distancia entre la succión y la válvula	30	0.8	17.5	0.4	12.5	0.3

Nota: En este cuadro se presenta la información de las bombas utilizada para calcular el BCL de cada tanque.

Cuadro 153. Medidas de los tanques calculados según el caudal máximo de entrada

Descripción		Tanque general	Tanque Tándem A	Tanque Tándem B
Caudal de entrada	Flujo máximo (m^3/s)	0.048	0.011	0.008
	Tiempo de residencia (s)	120	120	120
	Volumen del flujo máximo (m^3)	5.8	1.3	0.9
Dimensiones del tanque (volumen efectivo)	Diámetro del tanque (m)	2	1.4	1.1
	Altura de requerida por el guardanivel (m)	0.3	0.2	0.1
	Volumen equivalente por el guardanivel (m^3)	0.7	0.3	0.1
	Altura del tanque que satisface caudal (m)	1.8	0.9	1.0
	Altura efectiva total del tanque (m)	2.1	1.1	1.1
	Razón a la que se vacía el tanque, a flujo total (m/s)	0.02	0.01	0.01
	Capacidad total del tanque (m^3)	6.7	1.5	1.0
Dimensiones del tanque (volumen de diseño)	Diámetro de la tubería de rebalse (m)	0.2	0.1	0.1
	Altura de succión de la bomba (m)	0.2	0.1	0.1
	BCL (Nivel de capacidad inferior) (m)	0.2	0.1	0.1
	TCL (Nivel de capacidad superior) (m)	2.3	1.1	1.2
	Altura real del tanque (m)	2.5	1.3	1.3
	Área circular de base y techo (m^2)	3.1	1.4	1
	Circunferencia (m)	6.3	4.2	3.5
	Área superficial del tanque (m^2)	22.1	8.3	6.4
	Volumen real del tanque (m^3)	7.9	1.8	1.2
Bases del tanque (losa de cemento)	Altura de las bases (m)	0.2	0.2	0.2
	Distancia horizontal entre la circunferencia del tanque y la de la grava (m)	0.1	0.1	0.1
	Ancho del anillo de concreto (m)	0.6	0.5	0.4
	Diámetro de la base (m)	2.5	1.8	1.6
Tanque + base	Altura final del tanque desde el suelo (m)	2.7	1.4	1.5
	RELACIÓN H/D	1.3	1.0	1.2

Nota: En este cuadro se muestran las medidas de los tanques calculados utilizando el caudal máximo de entrada y un tiempo de residencia de 180 s. Sin embargo, debido a que existen límites de altura y área disponibles en el ingenio, se propuso un diseño con un menor tiempo de residencia para obtener tanques más pequeños. Estos se muestran en el Cuadro 154 (pág. 309).

Cuadro 154. Medidas de los tanques calculados según área disponible en ingenio

Descripción		Tanque general	Tanque Tándem A	Tanque Tándem B
Caudal de entrada	Flujo promedio (m^3/s)	0.039	0.010	0.006
	Tiempo de residencia (s)	108	84	84
	Volumen del flujo promedio (m^3)	4.2	0.8	0.5
Dimensiones del tanque (volumen efectivo)	Diámetro del tanque (m)	1.7	1.1	0.8
	Altura de requerida por el guardanivel (m)	0.3	0.2	0.1
	Volumen equivalente por el guardanivel (m^3)	0.7	0.2	0.1
	Altura del tanque que satisface caudal (m)	1.8	0.9	1
	Altura efectiva total del tanque (m)	2.1	1	1.1
	Razón a la que se vacía el tanque, a flujo total (m/s)	0.02	0.01	0.01
	Capacidad total del tanque (m^3)	5.0	1.0	0.6
Dimensiones del tanque (volumen de diseño)	Diámetro de la tubería de rebalse (m)	0.2	0.1	0.1
	Altura de succión de la bomba (m)	0.2	0.1	0.1
	BCL (Nivel de capacidad inferior) (m)	0.2	0.1	0.1
	TCL (Nivel de capacidad superior) (m)	2.3	1.1	1.2
	Altura real del tanque (m)	2.5	1.3	1.3
	Área circular de base y techo (m^2)	2.4	1	0.5
	Circunferencia (m)	5.5	3.5	2.5
	Área superficial del tanque (m^2)	18.3	6.2	4.3
	Volumen real del tanque (m^3)	5.9	1.2	0.7
Bases del tanque (losa de cemento)	Altura de las bases (m)	0.2	0.2	0.2
	Distancia horizontal entre la circunferencia del tanque y la de la grava (m)	0.1	0.1	0.1
	Ancho del anillo de concreto (m)	0.3	0.3	0.3
	Diámetro de la base (m)	2.2	1.6	1.3
Tanque + base	Altura final del tanque desde el suelo (m)	2.6	1.4	1.5
	RELACIÓN H/D	1.4	1.1	1.6

Nota: En este cuadro se muestran las medidas de los tanques calculados tomando en cuenta los límites de altura y área disponibles en el ingenio.

Cuadro 155. Accesorios de los tanques

Descripción		Tanque general	Tanque Tándem A	Tanque Tándem B
Tubería de rebalse	Diámetro (m)	0.15	0.09	0.06
	Codos 90 º necesarios	3	3	3
	Largo de tubería (m)	2.2	1.1	1.2
	2 Niples (m)	0.2	0.2	0.2
Venteo	Niple 1 (m)	0.13	0.13	0.13
	Niple 2 (m)	0.08	0.08	0.08
	Diámetro (m)	0.03	0.03	0.03
	Codos 90 º necesarios	2	2	2
Niple unido al tanque	Distancia que debe atravesar (m)	0.2	0.2	0.2
	Largo del niple requerido (m)	0.25	0.25	0.25
	Diámetro del niple (m)	0.03	0.03	0.03
Válvula compuerta	Diámetro (m)	0.03	0.03	0.03
	Niple (m)	0.03	0.03	0.03
	Unión universal (m)	0.03	0.03	0.03
Escalera	Altura (m)	2.5	1.3	1.3
	Distancia entre peldaños (m)	0.2	0.2	0.2
	Ancho de la escalera (m)	0.5	0.5	0.5
	Diámetro de los parales (m)	0.03	0.03	0.03
	Diámetro de las barras (m)	0.02	0.02	0.02

Nota: Los accesorios propuestos y sus medidas fueron establecidos según el estándar Tanques de Acero Para Agua de AWWA.

Cuadro 156. Láminas para construcción de los tanques según el caudal máximo de entrada

Especificaciones			
Descripción	Para la base	Para el techo	Para el cuerpo del tanque
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Norma	ASTM A36	ASTM A36	ASTM A36
Grosor (m)	0.005	0.005	0.005
Medidas (m)	0.15x0.10	0.15x0.10	0.15x0.10
Láminas requeridas			
Descripción	Para la base	Para el techo	Para el cuerpo del tanque
Tanque general	2	2	8
Tanque T.A.	1	1	2
Tanque T.B.	1	1	2

Cuadro 157. Láminas para construcción de los tanques según área disponible en ingenio

Especificaciones			
Descripción	Para la base	Para el techo	Para el cuerpo del tanque
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Norma	ASTM A36	ASTM A36	ASTM A36
Grosor (m)	0.005	0.005	0.005
Medidas (m)	0.15x0.10	0.15x0.10	0.15x0.10
Láminas requeridas			
Descripción	Para la base	Para el techo	Para el cuerpo del tanque
Tanque general	2	2	6
Tanque T.A.	1	1	2
Tanque T.B.	1	1	2

Cuadro 158. Pintura para cubrir los tanques calculados con el caudal máximo de entrada

Recubrimiento	Rendimiento (m^2/m^3)	Capas necesarias	Área a cubrir (m^2)	Volumen necesario (m^3)
Anticorrosivo	10040	1		3.6E-03
Poliuretano esmalte	8190	1	36.8	4.5E-03
Marcopoxy	9511	1		3.9E-03

Cuadro 159. Pintura requerida para cubrir los tanques calculados según espacio disponible

Recubrimiento	Rendimiento (m^2/m^3)	Capas necesarias	Área a cubrir (m^2)	Volumen necesario (m^3)
Anticorrosivo	10040	1		0.003
Poliuretano esmalte	8190	1	28.8	0.004
Marcopoxy	9511	1		0.003

Cuadro 160. Parámetros de control de nivel

Interruptor de nivel tipo flote (montaje lateral)	Tanque general (m)	Tanque T.A (m).	Tanque T.A. (m)
LLS (Interruptor de nivel inferior)	0.5	0.3	0.2
HLS (Interruptor de nivel superior)	2.0	0.9	1.1

Nota: Los límites de control de nivel son iguales para los tanques calculados con el caudal máximo y los calculados según los límites de área y altura en el ingenio.

Cuadro 161. Inversión del equipo importado

Descripción	Cantidad	Costo en dólares	Costo en quetzales	Total
Bomba 1.5x3-8 Sti	2	$4,068.64	Q30,107.94	Q60,215.87
Bomba 2x3-6 Sti	2	$3,942.16	Q29,171.98	Q58,343.97
Interruptor de nivel	6	$44.75	Q331.15	Q1,986.90
Controlador de nivel	3	$220.00	Q1,628.00	Q4,884.00
Total ExW				Q125,430.74
Flete Miami - Guatemala (10%)				Q12,543.07
Flete Guatemala - Ingenio (8%)				Q10,034.46
Sub total				Q148,008.27
IVA (12%)				Q17,760.99
Arancel (0%)				Q0.00
Subtotal				Q165,769.27
Otros (1%)				Q1,657.69
Total				Q167,426.96

Nota: En este cuadro se muestra el cálculo de la inversión para las bombas, interruptores de nivel y controlador de nivel. Estos deben importarse de Miami, por lo que se determinó el costo asociado al traslado y sus impuestos.

Cuadro 162. Inversión de tuberías

Tubería	Diámetro (m)	Longitud (m)	Costo unitario (Q/ft)	Costo total (Q.)
Acero al carbón SC 40	0.04	13.50	8.39	371.51
	0.02	42.90	3.4	478.45
	0.03	2.50	7.21	59.12
	0.03	137.80	5.21	2354.84
	0.06	55.69	15.75	2877.08
	0.09	28.80	28.39	2681.83
	0.10	29.20	33.19	3178.81
Total				12001.64

Nota: En este cuadro se presenta el costo calculado para las tuberías en el sistema aéreo.

Cuadro 163. Inversión de válvulas y accesorios

Válvulas y accesorios	Diámetro (m)	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Costo total (Q.)
Codos de 90º	0.04	3	18.00	54.00
	0.02	4	7.00	28.00
	0.03	2	14.00	28.00
	0.03	6	9.00	54.00
	0.06	11	38.00	418.00
	0.09	4	52.50	210.00
	0.10	5	65.00	325.00
Uniones T	0.1-0.1-0.1	1	86.00	86.00
	0.09-0.09-0.09	1	152.00	152.00
	0.06-0.06-0.06	1	147.00	147.00
	0.04-0.04-0.01	2	45.43	90.86
	0.05-0.05-0.03	2	80.44	160.88
	0.08-0.08-0.04	4	190.90	763.60
Válvulas de globo	0.09	2	3488.00	6976.00
	0.06	2	2945.00	5890.00
Válvulas de cheque	0.09	2	1892.00	3784.00
	0.06	2	1840.00	3680.00
Válvulas de compuerta	0.08	2	1752.00	3504.00
	0.06	2	1480.00	2960.00
Acople	0.01	8	33.00	264.00
Niple de 5 in	0.01	8	21.00	168.00
Manómetro	0.01 m NPT	8	220.00	1760.00
Total				31503.34

Nota: En este cuadro se presenta el costo calculado para los accesorios en el sistema de tuberías aéreo.

Cuadro 164. Inversión de contracciones y expansiones

Tipo	Diámetro 1 (m)	Diámetro 2 (m)	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Costo total (Q.)
Concéntrico	0.04	0.02	1	32.00	32.00
	0.03	0.03	1	22.00	22.00
	0.03	0.02	1	16.00	16.00
	0.04	0.06	2	44.00	88.00
	0.03	0.04	3	36.00	108.00
	0.05	0.09	2	48.00	96.00
	0.09	0.10	1	42.00	42.00
	0.06	0.10	1	145.00	145.00
Excéntrico	0.09	0.08	2	40.00	80.00
Bushing	0.03	0.01	2	27.33	54.66
Bushing	0.04	0.01	4	29.53	118.12
Total					801.78

Nota: En este cuadro se presenta el costo calculado para las contracciones y expansiones requeridas en el sistema de tuberías aéreo.

Cuadro 165. Inversión de los tanques

Descripción	Diámetro (m)	Longitud (m)	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Costo total (Q.)
Niple	0.03	3.05	3	26.00	78.00
	0.03	1.52	3	22.00	66.00
	0.03	0.91	3	16.00	48.00
	0.03	0.61	3	13.50	40.50
	0.09	2.13	2	64.60	129.20
	0.06	2.13	2	45.90	91.80
Codo 90 º	0.03	-	6	9.00	54.00
	0.09	-	2	52.50	105.00
	0.06	-	2	38.00	76.00
	0.15	-	2	180.00	360.00
Unión universal	0.03	-	3	38.10	114.30
Válvula de compuerta	0.03	-	3	207.00	621.00
Tubería SC 40 acero al carbón	0.09	3.61	-	28.40	102.43
	0.06	3.94	-	15.80	61.99
	0.15	7.22	-	55.80	402.51
	0.03	33.46	-	5.20	174.31
	0.01	39.00	-	3.40	133.82
Lámina acero al carbón (7.9 mm)	-	-	18	19.10	344.52
Pernos de anclaje	0.01		22	12.20	268.18
Anticorrosivo	-	-	0.004 m^3	440.00	440.00
Poliuretano esmalte	-	-	0.005 m^3	705.00	705.00
Marcopoxy	-	-	0.008 m^3	2200.00	2199.99
Interruptor de nivel tipo flote (montaje lateral)	0.01	-	6	442.00	2652.12
Controlador de nivel	-	-	3	2173.10	6519.24
Total					15787.91

Nota: En este cuadro se presenta el costo de los tanques calculados según el área y altura disponible en el ingenio.

Cuadro 166. Inversión de las bombas

Modelo	Tamaño	Cantidad	Precio EXW	Precio en Guatemala
3196	1.5x3-8	2	Q60,067.87	Q80,377.11
3196	2x3-6	2	Q58,343.97	Q77,878.46
Total			Q118,411.84	Q158,255.57

Nota: En este cuadro se presentan los precios de las bombas cotizadas en Goulds Pumps.

3. Cálculos de muestra

a. Cálculos de propiedades del agua

Cálculo 1. Determinación de la dureza

Utilizando una dilución 1:5 de la muestra, se determinó que para alcanzar el punto de viraje de la solución se requerían 1.4 ºd de EDTA.

$$1.4\ ^{o}\text{d} * \frac{5\ \text{mL sol}}{1\ \text{mL sol}} = 7.0\ ^{o}\text{d}$$

Según el manual, para obtener la concentración de $CaCO_3$ en ppm, se deben multiplicar los grados alemanes por un factor de 17.85.

$$7.0\ ^{o}\text{d} * \frac{17.85\ \text{ppm}\ CaCO_3}{1\ ^{o}\text{d}} = 124.95\ \text{ppm}\ CaCO_3$$

Cálculo 2. Determinación de flujos promedio

Para los valores promedio de propiedades y caudales, se realizó el siguiente cálculo.

$$Q_{prom} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} = \frac{12.5 + 18.7 + 15.6}{3} = 15.6\ \times 10^{-3} m^3/s$$

Cálculo 3. Determinación de las desviaciones estándar

Para determinar las desviaciones estándar de los valores promedio, se realizó el siguiente cálculo.

$$S = \sqrt{\frac{1}{3-1}[(12.5 - 15.6)^2 + (18.7 - 15.6)^2 + (15.6 - 15.6)^2]} = 3.7\ \times 10^{-3} m^3/s$$

Cálculo 4. Incertidumbre para la lectura de dureza

$$S = (124.95\ ) \sqrt{\left(\frac{0.05}{1.4}\right)^2} = 4.5 \text{ ppm } CaCO_3$$

Cálculo 5. Propagación de error para el promedio de dureza.

$$S = \sqrt{(4.5)^2 + (4.5)^2 + (4.5)^2} = 7.8$$

Cálculo 6. Propagación de error para el promedio de temperaturas.

$$S = \sqrt{(0.5)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2} = 0.9$$

Cálculo 7. Propagación de error para el promedio de pH.

$$S = \sqrt{(0.01)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2} = 0.02$$

Cálculo 8. Propagación de error para el promedio de conductividad.

$$S = \sqrt{(0.1)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2} = 0.2$$

Cálculo 9. Propagación de error para el promedio de salinidad.

$$S = \sqrt{(0.1)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2} = 0.2$$

Cálculo 10. Determinación del Índice de Langelier para el agua de Tanque Elevado

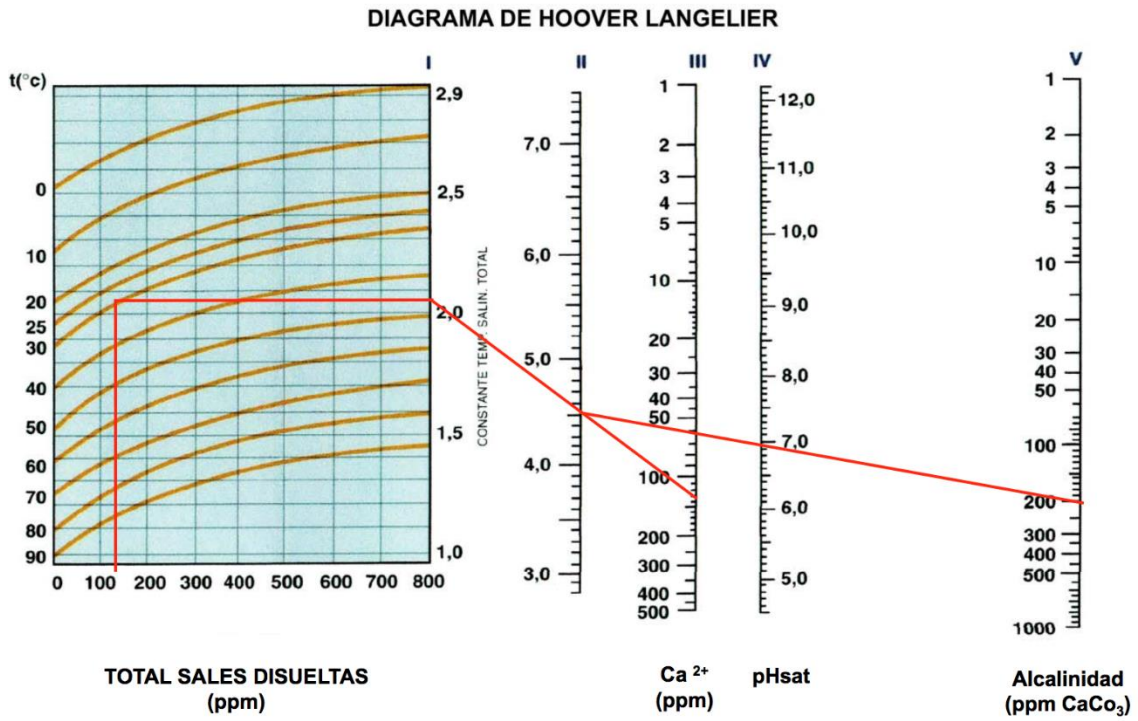
Utilizando las propiedades del agua de Tanque Elevado y el diagrama de Hoover-Langelier, se determinó el pHsat para el agua.

Cuadro 167. Propiedades del agua de Tanque Elevado

Parámetro	Valor
pH	8.0
Dureza total (CaCO3)	138.3 ppm
Salinidad	136.5 ppm
Alcalinidad*	200 ppm

*El valor de alcalinidad fue obtenido de Lenntech, como un nivel normal en aguas subterráneas.

Figura 69. Diagrama de Hoover-Langelier



La lectura de pHsat en el diagrama es de aproximadamente 7.0.

Calculando el Índice de Langelier (LSI) con la siguiente ecuación, se obtiene:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHsat}$$

$$\text{LSI} = 8.0 - 7.0 = 1.0$$

El índice mayor a cero indica que el pH real del agua es superior al pH de saturación. Por lo tanto, el agua es de carácter incrustante.

b. Cálculos de propiedades del sistema de tuberías

Los siguientes cálculos serán realizados utilizando la tubería PB-6 Tándem B como ejemplo. El cálculo 1 – 5 fue repetido para condiciones máximas y mínimas, utilizando el límite superior e inferior de las mediciones indicado por las desviaciones estándar, con el fin de determinar si la tubería mantendría una velocidad dentro del rango aceptado, aún en condiciones límite.

Cálculo 11. Conversión de caudal de gal/min a m^3/s

$$93.0\frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{0.003785\ \text{m}^3}{1\ \text{gal}} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}} = 0.006\ \text{m}^3/\text{s}$$

Cálculo 12. Conversión de velocidad lineal de ft/s a m/s

$$7\ \frac{\text{ft}}{\text{s}} * \frac{0.3048\ \text{m}}{1\ \text{ft}} = 2.1\ \text{m/s}$$

Cálculo 13. Determinación del área transversal de la tubería

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.006\ \text{m}^3/\text{s}}{2.1\ \text{m/s}} = 0.0028\ \text{m}^2$$

Cálculo 14. Determinación del diámetro de la tubería

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0028\ \text{m}^2}{\pi}} = 0.06\ \text{m}$$

$$0.06\ \text{m} * \frac{39.3701\ \text{in}}{1\ \text{m}} = 2.33\ \text{in}$$

Utilizando los diámetros de tuberías de acero estándar:

Diámetro nominal: 2.5 in

Cálculo 15. Determinación de la velocidad real de la tubería

Al seleccionar una tubería estándar, se calculó la velocidad real que tendría el fluido con el diámetro interno de la tubería.

El diámetro interno para una tubería de 2.5 in es de 2.469 in.

$$A_{real} = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (2.469\ \text{in})^2 = 0.0031\ \text{m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.006\ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0031\ \text{m}^2} = 1.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6.2 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Cálculo 16. Determinación del número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{\rho D V}{\mu} = \frac{\left(995.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(0.06\ \text{m})\left(1.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{0.0009\ \text{kg/m} \cdot \text{s}} = 131805$$

Cálculo 17. Longitud equivalente por fricción (codos 90º)

Cantidad de codos en el trayecto: 9

Utilizando los Cuadros de Cameron, se consultó la relación L/D. Utilizando el diámetro de la tubería:

$$\frac{L_e}{D} = 35$$

Utilizando una tubería de 2.5 in de diámetro nominal.

$$L_e = 35 * \left(\frac{2.5}{12}\right) = 7.3 \text{ ft eq}$$

Multiplicando la longitud equivalente por el número de codos totales:

$$\frac{7.3 \text{ ft eq}}{\text{Codo } 90º} * 9 \text{ codos } 90º = 65.6 \text{ ft eq}$$

Cálculo 18. Longitud equivalente por fricción (unión en T)

Cantidad de uniones T: 4

Utilizando los Cuadros de Cameron, se consultó la relación L/D. Utilizando el diámetro de la tubería:

$$\frac{L_e}{D} = 50$$

Utilizando una tubería de 2.5 in de diámetro nominal.

$$L_e = 50 * \left(\frac{2.5}{12}\right) = 10.4 \text{ ft eq} * 4 = 41.7 \text{ ft eq}$$

Cálculo 19. Longitud equivalente por fricción (válvula de globo)

Cantidad de válvulas de globo: 1

Utilizando los Cuadros de Cameron, se consultó la relación L/D. Utilizando el diámetro de la tubería:

$$\frac{L_e}{D} = 300$$

Utilizando una tubería de 2.5 in de diámetro nominal.

$$L_e = 300 * \left(\frac{2.5}{12}\right) = 62.5 \text{ ft eq}$$

Cálculo 20. Longitud equivalente por fricción (válvula de cheque)

Cantidad de válvulas de cheque: 1

Utilizando los Cuadros de Cameron, se consultó la relación L/D. Utilizando el diámetro de la tubería:

$$\frac{L_e}{D} = 100$$

Utilizando una tubería de 2.5 in de diámetro nominal.

$$L_e = 100 * \left(\frac{2.5}{12}\right) = 20.8 \text{ ft eq}$$

Cálculo 21. Longitud equivalente por fricción (válvula de compuerta)

Cantidad de válvulas de compuerta: 1

Utilizando los Cuadros de Cameron, se consultó la relación L/D. Utilizando el diámetro de la tubería:

$$\frac{L_e}{D} = 8$$

Utilizando una tubería de 2.5 in de diámetro nominal.

$$L_e = 8 * \left(\frac{2.5}{12}\right) = 1.7 \text{ ft eq}$$

Cálculo 22. Pérdidas por fricción longitud total

Longitud del trayecto: 147.3 ft

Longitud equivalente por codos: 65.6 ft

Longitud equivalente por válvulas: 85.0 ft

Longitud equivalente uniones T: 41.7 ft

$$\text{Longitud total} = 147.3 + 65.6 + 85.0 + 41.7 = 339.6 \text{ ft}$$

Caída de presión por cada 100 ft de longitud equivalente (tomado de Cameron Hidraulic Data): 6.43 ft

$$339.6 \text{ ft} * \frac{6.43 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} * \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} = 7.0 \text{ m}$$

Debido a que se colocará una T para unir el flujo de tándem A con el de tándem B, se calcularon las pérdidas por fricción para el tramo de la tubería de 4'' que une a los dos flujos. Esta caída de presión se le sumó a la anteriormente calculada.

$$7.0 \text{ m} + 1.8 \text{ m} = 8.8 \text{ m}$$

Cálculo 23. Cálculo de expansiones y contracciones

Para poder unir la tubería de 2.5'' in a una T recta de 4.0'', se requiere hacer una expansión de tubería. Para esto se utilizó la información del Cameron Hidraulic Data.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{2.5}{4} = 0.625$$

$$v_{2.5} = 6.2 \text{ ft/s}$$

$$hf = 0.23 \text{ ft} * \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} = 0.07 \text{ m}$$

Cálculo 24. Determinación de la cabeza requerida

Utilizando la ecuación de Bernoulli, se determinó la cabeza requerida para el desplazamiento del fluido.

$$\frac{\alpha \bar{V}_a^{\,2}}{2g} + \frac{P_a}{\rho g} + Z_a + \frac{\eta W_p}{g} = \frac{\alpha \bar{V}_b^{\,2}}{2g} + \frac{P_b}{\rho g} + Z_b + \frac{h_f}{g}$$

$$\frac{(0 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + \frac{99527 \text{ Pa}}{(995.71 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} - 3.4 \text{ m} + \frac{\eta W_p}{\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= \frac{(1.05)\left(6.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + \frac{99527 \text{ Pa}}{\left(995.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 0 + 8.87 \text{ m}$$

$$\eta W_p = 14.1 \text{ m}$$

Se cotizó una bomba capaz de entregar 12.6 m de cabeza y un caudal de 0.006 m^3/s (93.0 gal/min) de agua. La bomba seleccionada tiene una succión de 3 in y una descarga de 1.5 in. La tubería de la succión se cambió a 3 in, para evitar la colocación de una expansión en la succión de la bomba. En la tubería de descarga, se colocó una contracción para ajustar el diámetro hasta 2.5 in.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6$$

$$v_{1.5} = 12.8 \text{ ft/s}$$

$$hf = 0.72 \text{ ft} * \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} = 0.22 \text{ m}$$

Esta contracción eleva el requerimiento de cabeza de la bomba a 14.3 m. Sin embargo, se puede utilizar el mismo modelo.

Cálculo 25. Determinación del NPSH disponible

$$\frac{P_f}{\rho g} = (2.62\ \text{ft} + 20.8\text{ft} + 1.7\text{ft} + 10.4) * \frac{6.43\ \text{ft}}{100\ \text{ft eq}} * \frac{1\ \text{m}}{3.28\ \text{ft}} = 0.7\ \text{m}$$

$$\text{NPSH}_{\text{dis}} = \frac{P}{\rho g} + H - \frac{P_f}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} \quad = \frac{99527\ \text{Pa}}{\left(995.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 0 - (0.7\ \text{m}) - \frac{4246.3\ \text{Pa}}{\left(995.71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$\text{NPSH}_{\text{dis}} = 9.1\ \text{m}$$

El NPSH requerido por la bomba es de 2.6 ft (0.8 m). Debido a que el NPSH disponible es mayor al requerido, la bomba no tiene riesgo de cavitación.

c. Cálculos para los tanques de almacenamiento

Cálculo 26. Determinación del volumen del tanque

El flujo volumétrico promedio del tanque general hacia la torre es de 612.2 gal/min.

Debido a que el tanque no se utilizará para amortiguar flujo, se estableció un tiempo de residencia de 1.8 min, de forma en que las dimensiones finales respetaran el espacio disponible para el tanque.

Se utilizó un diámetro de 1.7, para obtener una relación H/D entre 1 y 2.

$$V_{\text{requerido}} = 612.2 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{0.00378\ \text{m}^3}{1\ \text{gal}} * (1.8\ \text{min}) = 4.2\ \text{m}^3$$

La altura del tanque que satisface el volumen requerido es:

$$H_{\text{requerido}} = \frac{(4.2\ \text{m}^3)4}{\pi(1.7\ \text{m})^2} * = 1.8\ \text{m}$$

Como guardanivel para la bomba, se estableció una altura de 2 veces el diámetro de la tubería de succión.

$$H_{\text{guardanivel}} = 2 * 6\ \text{in} * \frac{1\ \text{m}}{39.37\ \text{in}} = 0.3\ \text{m}$$

$$V_{\text{guardanivel}} = \frac{\pi}{4}(1.7\text{m})^2 * 0.3\text{m} = 0.7\ \text{m}^3$$

Altura efectiva total del tanque:

$$H = H_{\text{requerido}} + H_{\text{guardanivel}} = 2.1\ \text{m}$$

Además de la altura efectiva del tanque, debe añadirse un segmento en la parte inferior por la altura de succión de la bomba y un segmento en la parte superior para la tubería de rebalse.

Diámetro de la tubería de rebalse: 6 in

Altura de succión de la bomba: 7 in

$$\text{BCL} = 7\ \text{in} * \frac{1\ \text{m}}{39.37\ \text{in}} = 0.18\ \text{m}$$

$$\text{TCL} = 0.18\ \text{m} + 2.1\ \text{m} = 2.3\ \text{m}$$

$$\text{H}_{\text{real}} = 2.3\ \text{m} + \left((6\ \text{in} + 2\text{in}) * \frac{1\ \text{m}}{39.37\ \text{in}}\right) = 2.5\ \text{m}$$

Cálculo 27. Determinación del área superficial y volumen real del tanque

$$\text{A}_{\text{Base y techo}} = \frac{\pi}{4}(1.7\text{m})^2 = 2.4\ \text{m}^2$$

$$\text{Circunferencia} = (1.7\text{m})\pi = 5.5\ \text{m}$$

$$\text{A}_{\text{Rectangular}} = 5.5\ \text{m} * 2.5\ \text{m} = 13.5\ \text{m}^2$$

$$\text{A}_{\text{superficial}} = (2 * 2.4\ \text{m}^2) + 13.5\ \text{m}^2 = 18.3\ \text{m}^2$$

$$\text{V}_{\text{Real}} = 2.4\ \text{m}^2 * 2.5\ \text{m}^2 = 5.9\ \text{m}^2$$

Cálculo 28. Altura final del tanque con la base

$$\text{H} = 2.5 + \left(6\ \text{in} * \frac{1\ \text{m}}{39.37\ \text{in}}\right) = 2.6\ \text{m}$$

Cálculo 29. Determinación de la pintura requerida para el tanque

Según la hoja técnica del anticorrosivo, el producto tiene un rendimiento de 38 m^2/gal.

18.3 $\text{m2} * \frac{\text{gal}}{38\ \text{m}^2} = 0.48\ \text{gal}$

d. Cálculos para la importación de equipos

Para determinar el costo de importación de equipos según un precio Ex Work, se utilizaron los siguientes porcentajes de impuestos, fletes y aranceles.

- Flete Miami-Guatemala 10%
- Flete Guatemala-Ingenio 8%
- IVA 12%
- Arancel 0%
- Otros 1%

$$\text{Costo ExWork} = \text{Q. } 125430.74$$

$$\text{Flete Miami a Guatemala} = (\text{Q. } 125430.74) * 0.1 = \text{Q. } 12{,}543.07$$

$$\text{Flete Guatemala a ingenio} = (\text{Q. } 125430.74) * 0.08 = \text{Q. } 10{,}034.46$$

$$\text{Subtotal} = 12{,}543.07 + 10{,}034.46 = \text{Q. } 148{,}008.27$$

$$\text{IVA} = (\text{Q. } 148{,}008.27) * 0.12 = \text{Q. } 17{,}760.99$$

$$\text{Arancel} = \text{Q. } 0.00$$

$$\text{Subtotal} = 148{,}008.27 + 17{,}760.99 = \text{Q. } 165{,}769.27$$

$$\text{Otros} = (\text{Q. } 165{,}769.27) * 0.01 = \text{Q. } 1{,}657.69$$

$$\text{Total} = (\text{Q. } 165{,}769.27) + \text{Q. } 1{,}657.69 = \text{Q. } 167{,}426.96$$

C. Módulo 3: Área de fábrica.

1. Datos originales

Cuadro 168. Volumen y tiempo registrado en la salida de cristalizadores de masa tercera

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	09:46:00	38	10.00	10.92
			9.80	10.58
			8.00	8.76
	11:00:00	37	8.50	8.52
			10.00	10.82
			10.00	11.34
	12:47:00	40	11.00	12.12
			9.80	11.09
			10.00	11.50
Martes 13 de marzo 2018	08:40:00	34	9.50	9.13
			8.50	8.44
			8.80	8.75
	09:27:00	35	8.80	9.05
			8.00	8.72
			7.20	8.22
	10:30:00	35	7.50	7.87
			8.00	8.21
			9.20	8.88
	13:03:00	36	8.50	8.87
			8.50	7.99
			9.00	9.80
Sábado 24 de marzo 2018	10:55:00	34	9.00	13.94
			8.00	12.65
			9.20	17.38
	13:00:00	37	5.50	10.75
			7.20	11.28
			7.00	11.51
	13:45:00	38	8.00	14.11
			7.20	12.45
			7.50	12.93

Cuadro 169. Datos registrados en efluentes de bandejas de cristalizadores de masa tercera

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	09:50:00	32	8.00	9.59
			8.00	9.48
			8.50	10.14
	11:06:00	30	10.00	12.07
			10.50	12.95
			9.00	11.06
	12:49:00	32	8.00	9.65
			9.00	10.81
			8.00	9.64
Martes 13 de marzo 2018	08:44:00	33	8.50	10.41
			9.80	11.88
			10.00	12.12
	09:30:00	32	8.00	10.26
			8.00	11.22
			9.00	11.70
	10:35:00	32	8.00	9.99
			8.20	10.09
			7.80	9.61
	13:04:00	33	8.50	10.57
			8.80	10.88
			7.00	9.51
Sábado 24 de marzo 2018	11:00:00	29	8.50	8.88
			9.00	9.30
			9.50	9.87
	13:03:00	31	7.30	7.90
			6.90	7.99
			7.00	7.57
	13:48:00	31	5.80	6.96
			7.50	8.44
			9.50	9.32

Cuadro 170. Datos registrados en efluentes de bombas de vacío de filtros rotativos

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	10:11:00	43	5.5	2.44
			5	2.4
			6.3	2.75
	11:30:00	42	5	2.24
			6	2.47
			7	3.17
	13:06:00	43	5	1.98
			6.2	2.01
			5.8	1.79
			6	2.02
Martes 13 de marzo 2018	09:07:00	42	6.2	2.38
			5	1.7
			6.2	1.9
	09:41:00	43	6.8	2.32
			7.8	2.53
			7.2	2.53
	10:47:00	42	6	2.09
			6	2.18
			6	2.04
	12:56:00	38	4.8	1.48
			5	1.52
			5	1.71
Sábado 24 de marzo 2018	11:21:00	41	6.8	3.76
			6.2	3.37
			7	3.88
	13:13:00	43	5.2	2.4
			5	2.2
			5	2.35
	14:00:00	45	5	2.81
			6.2	2.42
			6	2.89
			6	2.43

Cuadro 171. Datos de efluentes de limpieza de bandas transportadoras de cachaza

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	10:18:00	29	5.8	5.4
			6.0	5.1
			5.8	6.1
			6.0	6.2
	11:33:00	30	8.0	8.7
			8.0	8.0
			8.0	8.4
	13:10:00	31	10.0	7.2
			10.5	7.5
			9.0	6.6
Martes 13 de marzo 2018	09:01:00	33	6.5	9.3
			5.8	7.7
			4.5	6.6
	09:43:00	31	5.2	7.1
			5.0	6.8
			5.9	7.3
	10:50:00	31	5.0	6.7
			5.0	6.8
			4.5	6.2
	12:58:00	34	4.5	6.2
			5.2	6.8
			5.2	7.1
Sábado 24 de marzo 2018	11:28:00	31	5.8	7.3
			6.0	7.6
			6.2	8.3
	14:58:00	31	5.5	6.9
			5.5	7.4
			5.0	6.7
			4.9	6.1
	14:06:00	30	4.5	5.9
			5.0	6.5
			4.0	5.9
			4.2	5.5

Cuadro 172.Datos registrados en efluentes de enfriamiento de centrifugas G8

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	10:25:00	54	6.0	42.7
			6.0	49.0
			5.8	40.8
	11:43:00	53	4.5	79.8
			4.5	82.8
			4.5	91.2
	13:19:00	54	3.8	65.4
			9.0	62.4
			4.8	73.8
			6.0	36.3
			5.0	79.2
			4.0	80.4
Martes 13 de marzo 2018	09:15:00	53	6.2	67.8
			6.0	65.4
			6.5	61.2
			7.0	63.6
	09:57:00	53	6.0	55.5
			4.2	61.8
			5.2	58.4
			6.0	78.0
			6.0	80.4
	11:00:00	47	6.3	65.4
			3.0	367.8
	13:14:00	51	6.5	47.4
			6.0	33.8
			7.0	75.6

Cuadro 173. Registros en efluente de enfriamiento de centrifugas G8 (continuación)

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
			7.0	75.6
Sábado 24 de marzo 2018	10:35:00	52	6.0	52.7
			6.5	73.8
			8.8	68.4
			6.0	69.0
			7.0	54.2
	13:27:00	52	5.5	52.5
			5.8	42.2
			5.2	50.8
			6.8	53.6
			7.0	55.4
	14:13:00	50	4.5	58.6
			6.0	54.2
			6.8	45.7
			6.0	70.2
			6.8	48.7

Cuadro 174. Registros en efluentes de bombas de transferencia, de vacío y de meladura

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	11:14:00	33	6	5.86
			6	5.71
			6	5.74
	13:00:00	35	6	4.37
			6.3	5.42
			5	4.5
	13:37:00	35	4.8	2.57
			4.8	3.72
			5	4.1
			5	4.69
Martes 13 de marzo 2018	09:33:00	34	6.2	6.26
			6.2	7.31
			6.2	13.07
	10:40:00	39	4	4.83
			6.2	7.49
			4	4.28
	11:34:00	37	5	5.11
			4.5	5.44
			4.8	5.9
	13:09:00	38	4.5	4.41
			5	4.93
			4.5	5
Sábado 24 de marzo 2018	11:42:00	36	4.5	5.14
			5	5.53
			6	6.67
	13:07:00	35	5.8	4.32
			5	4.12
			3	3.01
	13:54:00	35	4.8	3.92
			5	4.7
			4.8	4.64
			4.5	4.98

Cuadro 175. Registros en efluentes de bombas de refinería en dos días de muestreo

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)
Martes 13 de marzo 2018	10:23:00	33	3.9
			3.2
			3.5
	11:40:00	37	3.9
			3.0
			3.0
	12:45:00	36	3.1
			3.0
			3.0
	13:23:00	35	4.0
			3.0
			3.1
Sábado 24 de marzo 2018	10:22:00	33	4.9
			3.9
			4.5
	13:35:00	33	4.0
			5.0
			4.0
	14:26:00	33	4.2
			4.0
			4.1

Cuadro 176. Datos registrados en salida de bombas de transferencia de evaporadores

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (mL)	Tiempo (s)
Sábado 7 de abril 2018	13:35:00	34	150	4.83
			200	7.36
			200	7.67
			250	7.68
			200	7.25

Cuadro 177. Datos registrados en salida de agua de hidrolavadora

Día	Hora	Temperatura (±1˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 1 de marzo 2018	11:28:00	34	6.8	40.38
			6.2	39.46
			6.2	39.84
	11:54:00			
	13:31:00			
Martes 13 de marzo 2018	08:50:00			
	09:49:00	31	9.5	5.94
			5.8	3.59
			4.5	3.44
			4.2	3.37
	10:55:00	43	3	5.28
			3.8	5.94
			3.2	6.05
	11:47:00	42	5	8.26
			5.2	10.57
			4.6	7.44
Sábado 24 de marzo 2018	10:48:00			
	13:24:00			
	14:01:00			

Cuadro 178. Datos registrados en salida 1 del turbogenerador 4MW

Día	Hora	Temperatura (˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 12 de abril	12:30:00 p. m.		11.0	1.8
			9.0	1.1
			10.0	1.5
Viernes 13 de abril	9:14:00 a. m.	21	4.1	2.3
			4.8	2.5
			5.9	2.3
			5.2	3.0
	10:12:00 a. m.	21.5	6.9	3.4
			5.2	1.9
			4.2	2.6
			5.2	2.5
			6.0	2.5
			6.5	3.3
	11:24:00 a. m.	22	6.0	3.0
			4.9	2.7
			6.9	3.1
			6.5	2.8

Cuadro 179. Volumen y tiempo registrado en salida 2 del turbogenerador 4MW

Día	Hora	Temperatura (˚C)	Volumen (L)	Tiempo (s)
Jueves 12 de abril	12:30:00 p. m.	22	6.9	3.4
			7.1	2.7
			7.1	3.3
			8.8	3.5
			7.0	2.9
Viernes 13 de abril	9:14:00 a. m.	22	11.0	2.3
			8.2	1.7
			9.2	1.8
	10:00:00 a. m.	21.5	10.2	2.1
			8.0	1.8
			8.5	1.9
	11:20:00 a. m.	22	9.0	2.1
			11.0	1.9
			10.3	2.2

Cuadro 180. Registro de análisis de TSS realizado para 11 salidas de agua de fábrica

Muestra	Identificación	Masa del papel filtro (±0.0001 g)	Volumen filtrado (±1 ml)	Masa seca (±0.0001 g)
1	Salida agua de enfriamiento de cristalizadores de masa 3era	0.3985	200.0	0.4037
2	Salida agua de bandejas de cristalizadores de masa 3era	0.4119	105.0	0.4128
3	Tubo 2: salida agua de bombas de vacío filtros rotativos	0.4172	140.0	0.4206
4	Tubo 4: Salida agua de limpieza de bandas de filtros de cachaza	0.4076	4.0	0.4887
5	Salida de agua centrifuga G8	0.4220	130.0	0.4243
6	Hidrolavadora	0.3913	100.0	0.3927
7	Tanque de recirculación	0.4157	179.0	0.4171
8	Bombas refinería	0.3998	70.0	0.4050
9	Bombas de transferencia de evaporadores	0.4078	50.0	0.4100
10	Turbogenerador de 4 lazo izq.	0.4144	150.0	0.4162
11	Turbogenerador de 4 lazo derecho	0.4107	100.0	0.4108

Cuadro 181. Propiedades fisicoquímicas determinadas para los once efluentes analizados

Día	Hora	Efluente	Temperatura (±0.5˚C)	pH (±0.01)	Conductividad (±0.1 µs/cm)	Salinidad (±0.1 ppm)	Dureza total (mg/L)
24/03/2018	10:26:	Enfriamiento de cristalizadores	34.5	7.7	221.0	102.0	126.7
5/04/2018	08:32:00	de masa 3era	39.0	8.1	178.3	83.9	125.0
24/03/2018	10:30:00	Bandejas de cristalizadores	29.0	8.4	200.0	92.6	117.8
5/04/2018	08:32:00	de masa 3era	31.0	8.5	169.8	78.6	115.1
24/03/2018	10:38:00	Bombas de vacío filtros	41.0	8.5	213.0	98.4	123.2
5/04/2018	08:54:00	rotativos	44.0	8.3	224.0	101.0	142.8

Cuadro 182. Propiedades fisicoquímicas determinadas para los efluentes analizados

Día	Hora	Efluente	Temperatura (±0.5˚C)	pH (±0.01)	Conductividad (±0.1 µs/cm)	Salinidad (±0.1 ppm)	Dureza total (mg/L)
24/03/2018	10:45:00	Limpieza de bandas de filtros de cachaza	27.0	8.1	297.0	136.0	166.0
5/04/2018	08:45:00		30.0	8.1	390.0	181.0	374.0
24/03/2018	10:50:00	Enfriamiento centrifugas G8	47.5	8.7	317.0	146.0	141.0
5/04/2018	09:05:00		51.0	8.8	316.0	146.0	142.8
7/04/2018	12:00:00	Hidrolavadora	31.0	8.7	312.0	144.0	151.7
24/03/2018	10:30:00	Bombas de transferencia, de vacío y de meladura		6.9	285.0	132.0	123.2
5/04/2018	08:36:00		34.0	7.5	296.0	136.0	147.6
24/03/2018	10:17:00	Bombas refinería	31.0	6.6	146.2	67.4	85.7
5/04/2018	09:00:00		31.5	6.9	210.0	95.8	89.3
7/04/2018	12:15:00	Bombas de transferencia de evaporadores	34.0	8.4	300.0	138.0	142.8
12/04/2018	12:15:00	Turbogenerador salida lazo izq.	21.0	8.1	214.0	101.0	129.4
12/04/2018	12:15:00	Turbogenerador salida lado derecho	22.0	7.9	195.3	89.9	120.5

Cuadro 183. Propiedades fisicoquímicas determinados para fuentes de abastecimiento

	Hora	Muestra	Temperatura (±0.1˚C)	pH (±0.1)	Conductividad (±0.1 µs/cm)	Salinidad (±0.1 ppm)	Dureza total (mg/L)	Hierro (mg/L)
2/04/2018	08:43:00	Pozo 4 (Virgen)	24	8.5	335	154	142.8	
5/04/2018			24	8.41	331	151	142.8	
11/04/2018	15:15:00							0.02
2/04/2018	08:56:00	Pozo Hotel	21	7.67	222	102	177.81	
5/04/2018			26	7.52	221	100	124.06	
11/04/2018	15:15:00							0
2/04/2018	09:03:00	Parábola	20.5	8.45	185.2	85.7	108.88	
5/04/2018			20	8.63	164.7	75	107.1	
11/04/2018	15:15:00							0.18
2/04/2018	09:18:00	Tanque tándem A	25	8.54	212	97.3	113.35	
5/04/2018			25	8.33	199.7	92.3	124.06	
11/04/2018	15:15:00							0.05
2/04/2018	09:52:00	Tanque tándem B	22	8.46	202	92.8	109.78	
5/04/2018			24	8.41	331	151	142.8	
11/04/2018	15:15:00							0.09
2/04/2018	09:42:00	Tanque elevado	25	8.07	302	139	133.86	
5/04/2018			25	7.92	294	134	142.8	
11/04/2018	15:15:00							0.04
2/04/2018	09:26:00	Pozo calderas	22	7.67	198.4	91.3	112.45	
5/04/2018			28	7.36	197.6	90.1	120.48	
11/04/2018	15:15:00							0

Cuadro 184. Datos de presión atmosférica obtenidos para el análisis respectivo.

Datos de presión atmosférica obtenidos del Instituto Privado Sobre Cambio Climático de la estación meteorológica Concepción del 11 de noviembre de 2017 al 13 de abril de 2018. A continuación, se muestran algunos de los datos obtenidos, ya que la base de datos proporcionaba el dato de presión atmosférica durante cada hora del día.

Fecha	Presión atmosférica
01/11/17 00:00	995.8
01/11/17 00:15	995.4
01/11/17 00:30	995
01/11/17 00:45	994.5
01/11/17 01:00	994
01/11/17 01:15	993.9
01/11/17 01:30	993.9
01/11/17 01:45	993.8
01/11/17 02:00	993.7
01/11/17 02:15	993.8
01/11/17 02:30	993.9
01/11/17 02:45	994
01/11/17 03:00	994
01/11/17 03:15	994.1
01/11/17 03:30	994.3
01/11/17 03:45	994.3
01/11/17 04:00	994.4
01/11/17 04:15	994.4
01/11/17 04:30	994.6
01/11/17 04:45	994.6
01/11/17 05:00	994.7
01/11/17 05:15	994.9
01/11/17 05:30	994.9
01/11/17 05:45	995.1
01/11/17 06:00	995.3
01/11/17 06:15	995.5
01/11/17 06:30	995.6
01/11/17 06:45	995.7
01/11/17 07:00	995.8
01/11/17 07:15	995.9
01/11/17 07:30	995.9
01/11/17 07:45	996.1
01/11/17 08:00	996.3

Cuadro 185. Datos de presión atmosférica obtenidos (Continuación)

Fecha	Presión atmosférica
01/11/17 09:15	996.9
01/11/17 09:30	996.8
01/11/17 09:45	996.8
01/11/17 10:00	996.6
01/11/17 10:15	996.4
01/11/17 10:30	996.3
01/11/17 10:45	996.1
01/11/17 11:00	996
01/11/17 11:15	995.8
01/11/17 11:30	995.6
01/11/17 11:45	995.4
01/11/17 12:00	995.2
01/11/17 12:15	994.9
01/11/17 12:30	994.7
01/11/17 12:45	994.5
01/11/17 13:00	994.2
01/11/17 13:15	994.1
01/11/17 13:30	994
01/11/17 13:45	993.9
01/11/17 14:00	993.9
01/11/17 14:15	993.7
01/11/17 14:30	993.8
01/11/17 14:45	993.7
01/11/17 15:00	993.6
01/11/17 15:15	993.5
01/11/17 15:30	993.6
01/11/17 15:45	993.6
01/11/17 16:00	993.7
01/11/17 16:15	993.8
01/11/17 16:30	993.9
01/11/17 16:45	994.2
01/11/17 17:00	994.4
01/11/17 17:15	994.5
01/11/17 17:30	994.7
01/11/17 17:45	994.7
01/11/17 18:00	994.8

Cuadro 186. Humedad relativa y temperaturas de la base de datos del ingenio

Humedad relativa y temperaturas mínimas y máximas obtenidas de la base de datos de estación meteorológica del ingenio.

Fecha	H max %	H min %	T (°C) max	T (°C) min
13/11/2017	96	44	33.4	22.5
15/11/2017	96	44	35.3	20.8
17/11/2017	91	51	35.1	21.5
20/11/2017	87	40	36.6	20
22/11/2017	85	39	36.2	20.6
24/11/2017	73	42	36.9	21.3
26/11/2017	68	31	38	19.9
28/11/2017	65	20	38.5	24.3
30/11/2017	95	38	35.1	19.6
2/12/2017	80	20	35.2	21.9
3/12/2017	76	23	34.5	22.6
6/12/2017	83	28	35.9	21
8/12/2017	80	22	35.8	21.3
10/12/2017	25	15	35.3	23.1
11/12/2017	43	25	29.9	24.4
14/12/2017	73	30	39.7	19.7
16/12/2017	83	31	35.1	19.9
17/12/2017	79	21	34.8	20.3
28/12/2017	73	31	36	22.3
29/12/2017	86	18	34.9	20.1
31/12/2017	82	23	35.9	21.7
3/01/2018	61	22	35.1	21.4
4/01/2018	55	16	36.4	22.6
6/01/2018	69	16	34.1	21.3
8/01/2018	64	19	35.8	21.4
10/01/2018	80	19	33.8	18.6
13/01/2018	42	16	34.9	23.1
15/01/2018	36	15	34.4	24.3
16/01/2018	49	19	34.9	23
19/01/2018	76	19	36.9	19.4
21/01/2018	75	43	36.9	20.1
23/01/2018	54	20	35.3	21.9
25/01/2018	62	17	37.6	23
27/01/2018	71	25	35.4	19.3
29/01/2018	55	17	36.2	20.9

Cuadro 187.Humedad relativa y temperatura de la base de datos del ingenio (Cont.)

Fecha	H max %	H min %	T (°C) max	T (°C) min
13/11/2017	96	44	33.4	22.5
15/11/2017	96	44	35.3	20.8
17/11/2017	91	51	35.1	21.5
20/11/2017	87	40	36.6	20
22/11/2017	85	39	36.2	20.6
24/11/2017	73	42	36.9	21.3
26/11/2017	68	31	38	19.9
28/11/2017	65	20	38.5	24.3
30/11/2017	95	38	35.1	19.6
2/12/2017	80	20	35.2	21.9
3/12/2017	76	23	34.5	22.6
6/12/2017	83	28	35.9	21
8/12/2017	80	22	35.8	21.3
10/12/2017	25	15	35.3	23.1
11/12/2017	43	25	29.9	24.4
14/12/2017	73	30	39.7	19.7
16/12/2017	83	31	35.1	19.9
17/12/2017	79	21	34.8	20.3
19/12/2017	73	19	36.6	19.8
22/12/2017	90	17	36	21.5
24/12/2017	71	18	37.1	19.6
26/12/2017	72	16	35.1	18.4
28/12/2017	73	31	36	22.3
29/12/2017	86	18	34.9	20.1
31/12/2017	82	23	35.9	21.7
3/01/2018	61	22	35.1	21.4
4/01/2018	55	16	36.4	22.6
6/01/2018	69	16	34.1	21.3
8/01/2018	64	19	35.8	21.4
10/01/2018	80	19	33.8	18.6
13/01/2018	42	16	34.9	23.1
15/01/2018	36	15	34.4	24.3
16/01/2018	49	19	34.9	23
19/01/2018	76	19	36.9	19.4
21/01/2018	75	43	36.9	20.1
23/01/2018	54	20	35.3	21.9

2. Cálculos

Cálculo 1. Determinación de dureza
Se utilizó una dilución 1:5 de la muestra. Se determinó que para alcanzar el punto de viraje era necesario 1.4°d de EDTA.

$$1.4°\text{d} \times \frac{5\ \text{mL sol.}}{1\ \text{ml sol.}} = 7.0^{\circ}\text{d}$$

Para obtener la concentración en $CaCO_3$ en ppm, se deben multiplicar los grados alemanes por un factor de 17.85.

$$7.0^{\circ}\text{d} \times \frac{17.85\ \text{CaCO}_3}{1°\text{d}} = 124.95\ \text{ppm CaCO}_3$$

Cálculo 2 Determinación de flujo volumétrico promedio

$$\text{Q}_{\text{promedio}} = \frac{\text{Q1} + \text{Q2} + \text{Q3} + \cdots \text{Qn}}{\text{n}}$$

$$\text{Q}_{\text{promedio}} = \frac{(3.30 + 3.33 + 3.29 + 3.59 + 3.33 \ldots)\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{30} = 3.03\ \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Este cálculo se realizó utilizando Excel, para los caudales y propiedades físicas y químicas medidas.

Cálculo 3. Determinación de desviación estándar

$$\text{s} = \sqrt{\frac{\sum_{\text{i}}(\text{Xi} - \text{X})\text{^}2}{\text{n} - 1}}$$

$$\text{s} = \sqrt{\frac{(3.30 - 3.03)^2 + (3.29 - 3.30)^2 + (3.33 - 3.30)^2 \ldots +}{30 - 1}} = 0.6375\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Este cálculo se realizó para determinar la desviación estándar de los valores promedios, se utilizó Excel.

Cálculo 4. Propagación de error para los sólidos disueltos

$$S = 25.5833\frac{mg}{L} \times \sqrt{\left(\frac{0.0001}{0.3985}\right)^2 + \left(\frac{1.00}{200}\right)^2} = 0.1281$$

Cálculo 5. Determinación de diámetro de tubería

A continuación se muestra el cálculo realizado para dimensionar la tubería para el agua de salida de los cristalizadores de masa tercera. Se trabajó con el flujo volumétrico promedio, el flujo volumétrico se determinó como se muestra en el cálculo 2.

$$q = 2.97\frac{m^3}{h} = 0.02916\frac{ft^3}{s}$$

Para cada dimensionamiento de tuberías se trabajó con una velocidad lineal en el rango de $5 - 10 ft/s$, el cuál es el recomendado para el flujo de agua en tuberías. (McCabe, 2007)

$$v = 5\ ft/s$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.02916\frac{ft^3}{s}}{5\ ft/s} = 0.00583\ ft^2 \times \left(\frac{2\ in}{1 ft}\right)^2 = 0.83985\ in$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.84\ in}{\pi}} = 1.034\ in$$

De la tabla de tuberías estándar de acero se seleccionó el diámetro interior que se ajustara al calculado.

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in.²	Área de la sección interior, ft²	Circunferencia, ft, o superficie, ft²/ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
⅛	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
¼	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
⅜	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
½	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
¾	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68

Diámetro interior = 1.049 in
Diámetro exterior = 1.315 in
Cédula = 40
Diámetro nominal = 1 in
Material: Acero al carbón.

Debido a que se trabajó con el caudal promedio, con el diámetro nominal determinado se calculó la velocidad real a la cual viaja el fluido para el caudal máximo, mínimo y promedio.

Para el flujo volumétrico máximo:

$$A = \frac{\pi}{4}(1\text{ in})^2 \times \left(\frac{1\text{ ft}}{12\text{ in}}\right)^2 = 0.00600\text{ft}^2$$

$$v\text{ real} = \frac{0.030\text{ ft}^3/\text{s}}{0.00600\text{ft}^2} = 5.75\text{ ft/s}$$

Se realizó la determinación de la velocidad real para comprobar que las velocidades lineales se encontraran dentro del rango recomendado para el diámetro de tubería seleccionado, en dado caso se tuviera el flujo mínimo o máximo.

Este cálculo se realizó para dimensionar las tuberías del agua de salida de las bombas de vacío, centrifugas modelo G8, hidrolavadora y los siguientes trayectos: del tanque recolector de fábrica al tanque general y del tanque general a la torre de enfriamiento.

Cálculo 6. Pérdidas por fricción por accesorios y válvulas, superficie, contracciones y expansiones
Pérdidas por accesorios y válvulas:

Se utilizó la siguiente tabla 6-4 del Perry (Figura 138, página 606) para determinar el coeficiente de pérdida por fricción en accesorios.

Para el trayecto del agua de salida del tanque de fábrica hacia el tanque colector general del sistema se requiere de los siguientes accesorios:

Accesorio	Coeficiente de pérdida por fricción en el accesorio (K_f)
Codo de 45°	0.35
Codo de 90°	0.75
T	1
Válvula de globo	6
Válvula de retención	2
Válvula de compuerta	0.17

$$K_f = (2 \times 0.35) + (9 \times 0.75) + (3 \times 1) + (1 \times 6) + (2 \times 2) + (1 \times 0.17) = 20.62$$

$$h_{ff} = K_f \frac{\bar{V}_a^2}{2g_c}$$

$$h_{ff} = 20.62 \times \left(\frac{\left(2.13\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1}\right) = 46.93\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Pérdidas por fricción de superficie:
Para calcular las pérdidas por fricción de superficie, se requiere el Número de Reynolds.
Para el agua a 38°C la densidad y viscosidad:

$$\rho = 993 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 0.000678 \frac{kg}{m\ s}$$

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} = \frac{(0.05250\ m) \times (2.134 m/s) \times (\frac{993 kg}{m^3})}{0.000678 \frac{kg}{m\ s}} = 1.64 \times 10^5$$

Con la tabla 6-1 del Perry se obtuvo la rugosidad relativa para la tubería de material de acero (Figura 137, página 606)

$$k = 0.0457\ mm$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0.0457\ mm \times \frac{1\ m}{1000\ m}}{0.05250\ m} = 0.00087$$

Observando la carta de factor de fricción de Fanning (Figura 6) para un Número de Reynolds de 1.64×10^5, y una rugosidad relativa de 0.00087 , el factor de fricción de Fanning es aproximadamente: 0.0065

Las pérdidas por fricción de superficie son:

$$h_{fs} = 4f * \frac{L}{D} * \frac{\bar{V}_a^2}{2g_c}$$

$$h_{fs} = 4\ (0.0065) \left(\frac{103.70\ m}{0.05250\ m}\right) \frac{\left(2.133\ \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 116.89 \frac{m^2}{s^2}$$

Pérdidas por fricción de forma: expansión brusca

$$S_a = \frac{\pi}{4}(2in)^2 = 3.14\ in^2$$

$$S_b = \frac{\pi}{4}(3in)^2 = 7.07\ in^2$$

$$K_e = \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2$$

$$K_e = \left(1 - \frac{3.14\ in^2}{7.07\ in^2}\right)^2 = 0.80$$

$$h_{fe} = (0.0.80) \times \frac{\left(2.133\ \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 1.8265 \frac{m^2}{s^2}$$

Pérdida total por fricción:

$$h_f = h_{fs} + h_{fe} + h_{ff} = \frac{(116.89 + 0.5058 + 46.93)\frac{m^2}{s^2}}{9.81\ \frac{m}{s^2}} = 16.75\ m$$

Cálculo 7. Determinación de cabeza total

Partiendo de la Ecuación general de Bernoulli:

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \overline{V_a^2}}{2} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \overline{V_b^2}}{2} + h_f$$

Se realizaron las siguientes simplificaciones:

Los dos tanques se encuentran abiertos a la atmosfera, por lo que los términos de fuerzas externas $\frac{P_a}{\rho}$ y $\frac{P_b}{\rho}$ se cancelan. Los términos de velocidad también se cancelan, ya que se tiene el mismo diámetro en todo el trayecto.

Se tomó como nivel de referencia para el punto A una altura de 1.5 m, esta es la altura sobre el nivel del agua en el tanque de fábrica. Para el punto B, la altura de referencia es 6 m, ya que la tubería de descarga al tanque colector lleva esa altura.

$$\text{Cabeza total} = Z_b + h_f - Z_a = (6 + 16.75 - 1.5)m = 21.251\ m$$

Cálculo 8. Selección de bomba centrifuga

La información que se brindó al proveedor para seleccionar la bomba centrifuga requerida para transportar el agua del tanque de fábrica al tanque colector (bomba 1) fue la siguiente:

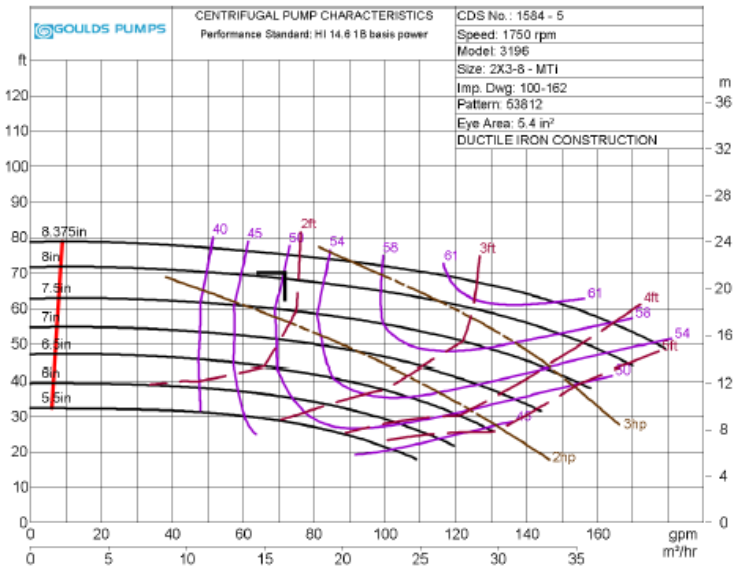
Fluido: agua
Rango de temperaturas: 20-40 ºC
rpm: 1750
Cabeza total: 21.5 m
Caudal: 72.32 gal/min
Material: hierro
Diámetro de succión: 2 in

A partir de los datos proporcionados, la bomba seleccionada tiene las siguientes especificaciones:

Cuadro 188. Especificaciones para la bomba 1

Datos generales	
Caudal (m^3/h)	16.42
Potencia del motor (kW)	2.24
Cabeza (m)	21.5
Eficiencia (%)	50
NPSH requerido (m)	0.61
Equipo	
Empresa	Gould Pumps
Modelo	3196
Tipo	2x3-8 MTi
Velocidad (rpm)	1800
Material del impulsor	Hierro
Material de la carcasa	Hierro

Figura 70. Curva característica de bomba centrifuga 1



Se realizó el mismo cálculo para seleccionar la bomba centrifuga que suministra el agua a la torre de enfriamiento.

Cálculo 9. Determinación de NPSH disponible

$$\mathrm{NPSH_{disponible}} = \frac{\mathrm{P}}{\rho g} + \mathrm{H} - \frac{\mathrm{P_f}}{\rho g} - \frac{\mathrm{P_v}}{\rho g}$$

$$\mathrm{P} = \frac{99527.57\ \mathrm{Pa}}{993\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \times 9.81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} = 10.22\ \mathrm{m}$$

Pérdidas por fricción en la línea de succión

$$P_f = 1.21 \text{ m}$$

Para la presión de vapor se tomó el dato de referencia de la Figura 140, a una temperatura de 38℃.

Presión de vapor en la línea de succión = 6633 Pa

$$P_v = 0.68 \text{ m}$$

$$NPSH_{disponible} = (10.22 + 1 - 1.21 - 0.68)\text{m} = 9.237 \text{ m}$$

Con el valor obtenido en el cálculo X, se determinó que el $NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$.

Cálculo 10.Potencia hidráulica

La potencia distribuida al fluido se calcula a partir de:

$$P_f = P_B \eta$$

$$P_f = 2.23 \text{ kW} \times 0.50 = 1.12 \text{ kW}$$

Cálculo 11. Determinación de presión atmosférica

Se consultó en la red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado Sobre Cambio Climático (ICC) la presión atmosférica desde el 1 de noviembre de 2017 al 25 de abril de 2018. Se tomó como referencia la estación meteorológica Concepción. A partir de los datos obtenidos se obtuvo la presión atmosférica promedio con Excel:

$$\text{P atm}_{\text{ promedio}} = 995.23 \text{ mbar}$$

$$\text{P atm}_{\text{ promedio}} = 995.23 \text{ mbar} \times \frac{100 \text{ Pa}}{1 \text{ mbar}} = 99527.57 \text{ Pa}$$

Cálculo 12. Determinación de temperatura bulbo húmedo del ingenio

Para determinar la temperatura se bulbo seco y humedad relativa se utilizó la base de datos de la estación meteorológica Santa Ana, la cual proporciono los datos de humedad relativa máxima y mínima y temperatura de bulbo seco máxima y mínima desde el 13 de noviembre de 2017 al 15 de abril de 2018.

Por medio de Excel se determinó el promedio de la humedad relativa máxima y el promedio de la temperatura de bulbo seco máxima.

$$T_{\text{bulbo seco promedio}} = 34.69 \text{ ℃}$$

$$\text{Humedad}_{\text{ relativa promedio}} = 49.59\%$$

Utilizando la carta psicométrica online “Fly Carpet” se calculó la temperatura de bulbo húmedo a partir de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. Se trabajó a la temperatura atmosférica de Escuintla y a la Altitud de 350 metros sobre el nivel del mar.

$$T_{\text{bulbo húmedo}} = 25.65℃$$

Figura 71. Carta psicométrica utilizada para determinar la temperatura de bulbo húmedo

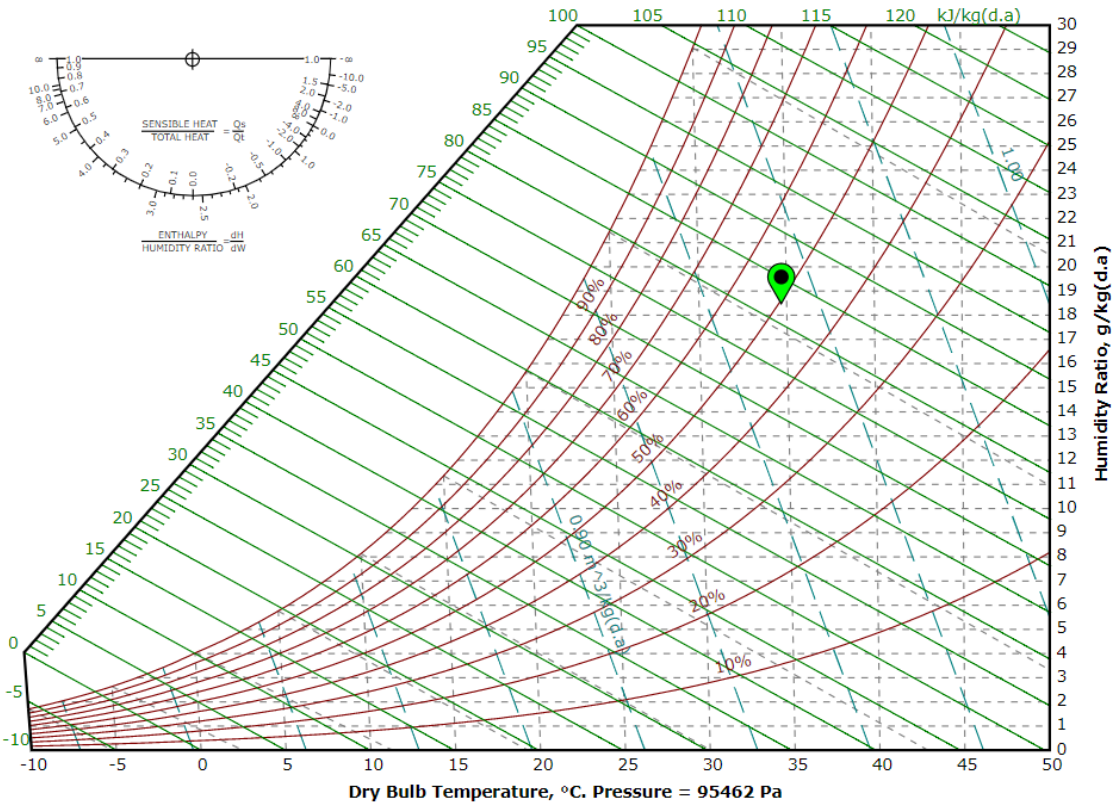


Figura 72. Datos obtenidos con carta psicométrica a partir de la T bulbo seco y HR%

T.Dry, °C	34.69
Rel.Humid, %	49.59

Quantity	Value	Units
P.Ambient	95462	Pa
T.Dry.Bulb	34.690	°C
Humid.Ratio	18.474	g/kg(d.a)
Rel.Humid	49.590	%
T.Wet.Bulb	25.652	°C
T.Dew	22.603	°C
T.Saturation	25.563	°C
Enthalpy	82.253	kJ/kg(d.a)
P.Vapour	2754	Pa
P.Sat.Vapour	5532	Pa
Spec.Heat	1.031	kJ/(kg.K)
Spec.Volume		m^3/kg(d.a)
Density		kg/m^3

Cálculo 13. Determinación de flujo másico máximo a la entrada de la torre a partir de flujo volumétrico

$$L'_{max} = 760\ \text{gpm} \times \frac{7.58 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s}}{1\ \text{gpm}} \times \frac{993.37\ \text{kg}}{\text{m}^3} = 57.20\ \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Cálculo 14.Determinación de valor mínimo de G'_s

Cuadro 189. Datos de equilibrio para el sistema aire-agua

TL (ºC)	H'(J/kg)
20	57570
25	78000
30	100030
35	125000
40	160000
45	210000
50	275580

(Treybal, 1988)

A una temperatura de bulbo húmedo de 25.65℃ y una temperatura de bulbo seco de 34.69℃ con la carta psicométrica "Fly Carpet" se determinó la entalpia del aire de entrada H_2 = 82850 J/kg.

Punto 1: condición en el fondo de la torre

$$TL_1 = 31.0\ ℃$$

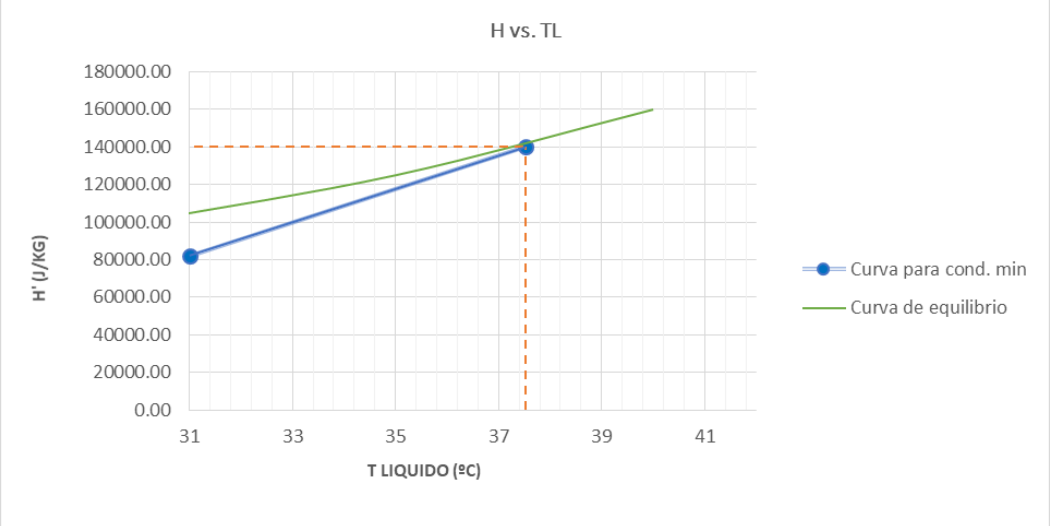
$$H_2 = 82250\ \text{J/kg aire seco.}$$

Punto 2:

$$TL_2 = 37.52\ ℃$$

A partir del punto 1 y a una temperatura del agua de salida de 37.52℃, se traza una recta tangente a la curva de equilibrio.

Figura 73.Curva para condición mínima



Se determinó gráficamente que para la condición mínima la entalpia del aire a la salida de la torre es H_2 = 140,000.00J/kg aire seco.

Con la ecuación 18, se determina el flujo mínimo de aire seco para la torre de enfriamiento

$$L'C_{AL}(t_{L2} - t_{L1}) = G'_s(H'_2 - H'_1)$$

$$G'_{s\,min} = \frac{L'C_{AL}(t_{L2} - t_{L1})}{(H'_2 - H'_1)}$$

$$G'_{s\,min} = \frac{(57.20\ \frac{kg}{s})(4187\frac{J}{kg\,K})(6.52\ K)}{(140000 - 82250)\frac{J}{kg\ aire\ seco}} = 27.04\ \frac{kg}{s}$$

Cálculo 15. Flujo de aire seco real para la torre de enfriamiento
Para determinar el flujo de aire seco real se utilizó 1.9 veces el mínimo. Se utilizó este valor, ya que se encuentra dentro del rango utilizado en la práctica y proporciona un valor de $\frac{L}{G} = 1.11$. La relación líquido y gas también se encuentra dentro del rango recomendado. Además, el valor de 1.9 veces el mínimo permite que el área de la sección transversal de la torre sea cuadrada.

$$G'_{s\,real} = 1.9\ \times 27.04\ \frac{kg}{s} = 51.38\frac{kg}{s}$$

Cálculo 16. Entalpia del aire en la salida

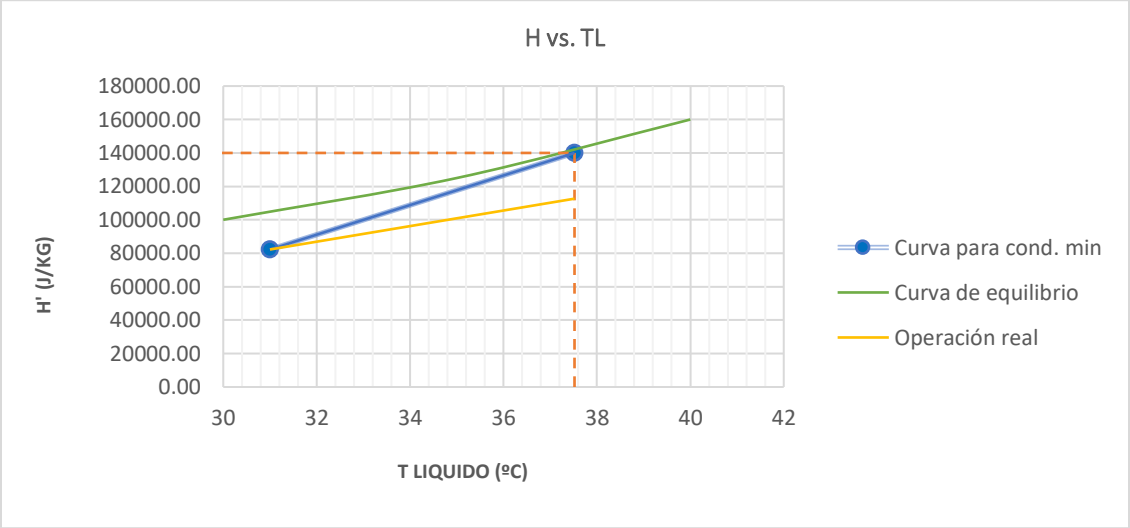
$$H'_2 = \frac{L'C_{AL}(t_{L2} - t_{L1})}{G'_s} + H'_1$$

$$H'_2 = \frac{(57.20\ \frac{kg}{s})(4187\frac{J}{kg\,K})(6.52\ K)}{51.38\frac{kg}{s}} + 82250\frac{J}{kg\ aire\ seco}$$

$$H'_2 = 112645\ \frac{J}{kg\ aire\ seco}$$

H_2 es la entalpía del aire a la salida para el flujo de aire real de operación. Se graficó la curva de operación real.

Figura 74. Curva de operación para la torre de enfriamiento



Cuadro 190. Datos de la curva de operación

TL (°C)	H'(J/kg)
31.00	82250.00
32.50	89242.65
35.00	100897.08
37.52	112644.74

Cálculo 17. Volumen húmedo el sistema aire-agua
Del cálculo 9, se obtiene la humedad absoluta del aire a las condiciones ambientales.

$$Y' = 18.47 \frac{\text{g } H_2O}{\text{kg aire}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{ g}} = 0.01847 \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg aire seco}}$$

$$v_H = (0.00283 + 0.00456Y')(t_G + 273)$$

$$v_H = \left(0.00283 + 0.00456(0.01847 \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg aire seco}})\right)(34.7℃ + 273) = 0.897 \ \frac{m^3}{\text{kg aire}}$$

Cálculo 18. Área transversal de la torre
De la ecuación 20, se obtiene el área transversal de la torre. La velocidad del aire se tomó según lo recomendado por la ASHRAE, siendo esta igual a $3 \frac{m}{s}$.

$$A = \frac{G' s v_s}{\mu}$$

$$A = \frac{51.38 \frac{\text{kg aire}}{\text{s}} \times 0.0897 \frac{\text{m}^3}{\text{kg aire}}}{3\text{m/s}} = 15.37\ \text{m}^2 \approx 16\text{m}^2$$

Cálculo 19. Determinación de flux del líquido y del aire

$$G = \frac{51.37\ \text{kg/s}}{15.37\ \text{m}^2} = 3.34\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$L = \frac{57.20\ \text{kg/s}}{15.37\ \text{m}^2} = 3.37\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

Cálculo 20. Factor característico para el relleno laminar

Para la siguiente ecuación, se utilizó los factores de relleno tipo CAS (Figura 135, página 604), los cuales corresponden a $\lambda = 0.36$ y $\text{m} = 0.66$.

$$\frac{K_a}{L} = \lambda \left(\frac{L}{G}\right)^{-m}$$

$$K_a = 0.36 \times (1.11)^{-0.66} \times\ 3.72\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}} = 1.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3\text{s}}$$

Cálculo 21. Determinación de la altura de una unidad de transferencia de entalpia del gas

$$H_{tOG} = \frac{G'_s}{K_a}$$

$$H_{tOG} = \frac{3.34\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}}{1.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3\text{s}}} = 2.6781\ \text{m}$$

Cálculo 22. Determinación de número de unidades de transferencia de entalpía

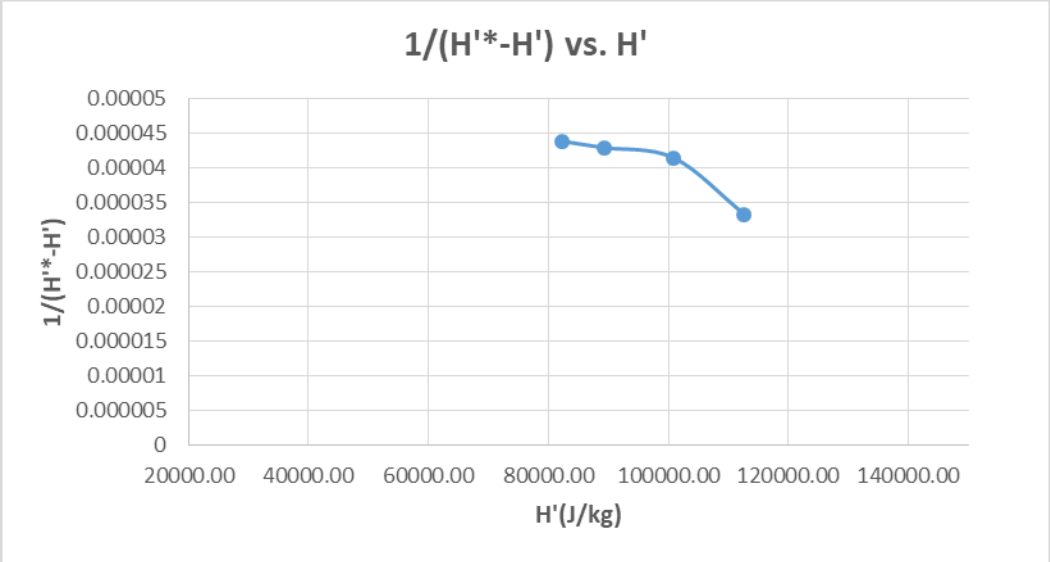
$$N_{tOG} = \int_{H'1}^{H'2} \frac{dH'}{H'^* - H'}$$

A partir de la ecuación anterior, es posible determinar el número de unidades de transferencia de entalpía del gas. Esta integral se resuelve por medio de sumas de Riemann, en donde se divide la curva de operación en 4 segmentos desde la temperatura de salida del agua a 31°C hasta la temperatura de entrada del agua 37.52°C.

Cuadro 191. Segmentos para la determinación de NTOG

TL (°C)	H'(J/kg) = A	H'* (J/kg) de Curva de equilibrio	1/(H'*-H') = B	Base (As-Ai)	Altura (Bi+Bs)/2	Área bajo la curva (Base*Altura)
31.00	82250.00	105024	4.39E-05			
32.50	89242.65	112515	4.30E-05	6992.65	4.34E-05	0.304
35.00	100897.08	125000	4.15E-05	11654.42	4.22E-05	0.492
37.52	112644.74	142640	3.33E-05	11747.66	3.74E-05	0.440
					Suma = NtoG	1.235

Figura 75. Área bajo la curva



Cálculo 23. Determinación de altura de empaque requerida

A partir del número de unidades de transferencia y la altura de una de transferencia se obtiene la altura del empaque:

$$Z = NtoG \times HtoG$$

$$Z = 1.24 \times 2.68\ m = 3.31\ m$$

Según el Chemical Engineering Desing, se considera un 20% de seguridad para equipos como torres de enfriamiento, por lo tanto, la altura de empaque requerido es 4.00 m.

Cálculo 24. Altura de colector de agua

Diámetro nominal de tubería de salida = 6 in

Con tabla de "Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero" (Figura 136) se determinó el diámetro interno para una tubería con diámetro nominal de 6 in.

Diámetro interno = 6.065 in

$$\mathrm{A} = \frac{\pi}{4}(6.065\ \mathrm{in})^2 \times \left(\frac{1\ \mathrm{ft}}{12\ \mathrm{in}}\right)^2 = 0.201\mathrm{ft}^2$$

Con el flujo volumétrico de agua a la salida y el área se determinó la velocidad lineal.

Flujo volumétrico de agua a la salida = 1.344 ft/s

$$\mathrm{v} = \frac{1.344\ \mathrm{ft/s}}{0.201\ \mathrm{ft}^2} = 6.798\ \mathrm{ft/s}$$

Con la velocidad y el diámetro nominal de tubería se determinó con la Figura 10, la altura mínima requerida para el colector de agua es 3.60 ft (1.09 m).

Cálculo 25. Selección y distribución de aspersores

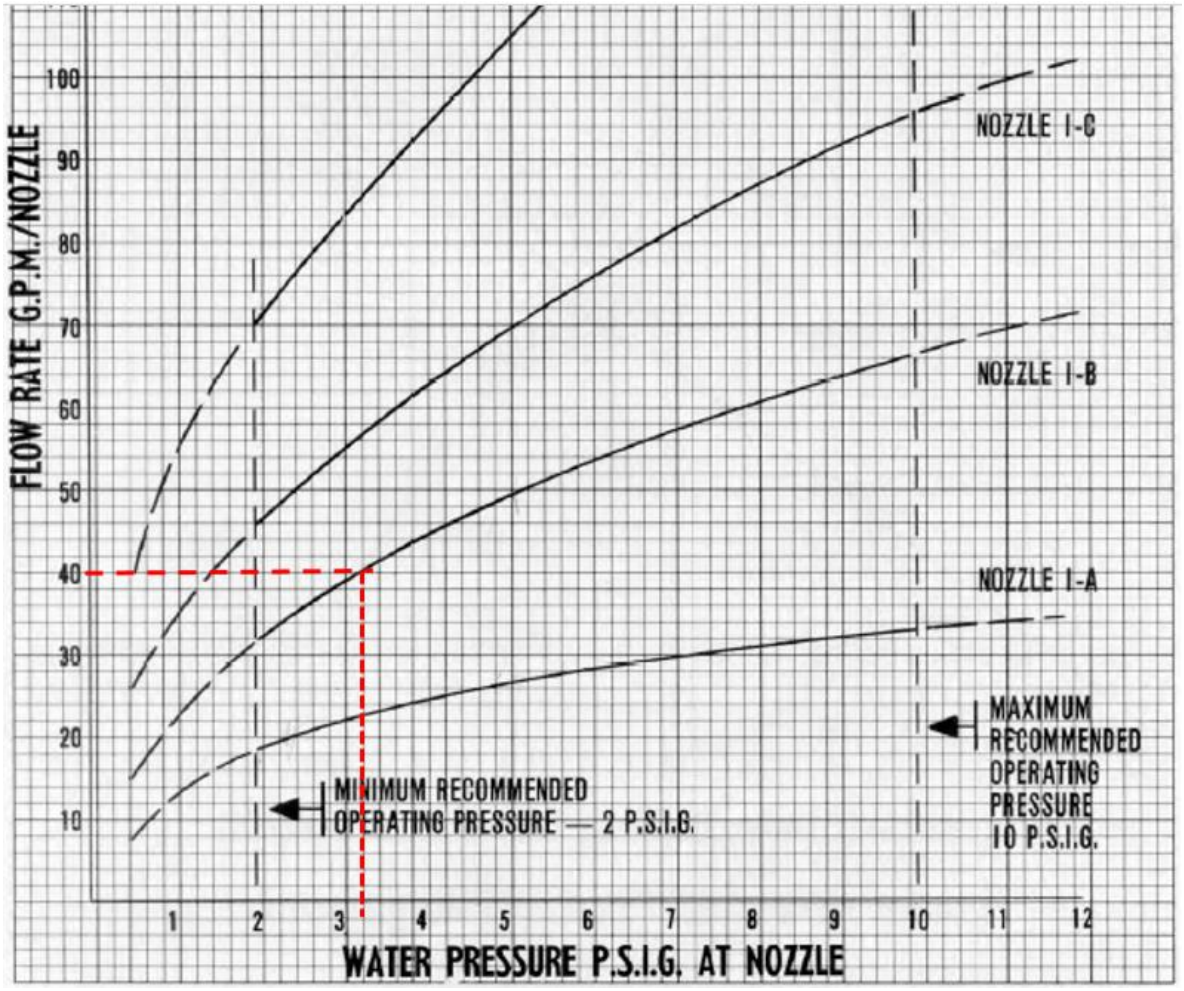
Se utilizó la metodología proporcionada por Brentwood Industries para la selección y distribución de los aspersores. Primero se dividió el área de la torre en cuadrados de 36" x 36", por cada cuadrado se contó un nozzle.

$$\text{No. de nozzles} = \frac{16\mathrm{m}^2}{0.58\ \mathrm{m}^2} = 19.27\ \approx 20\ \text{nozzles}$$

$$\frac{\mathrm{gpm}}{\mathrm{nozzle}} = \frac{760\ \mathrm{gpm}}{20\ \mathrm{nozzles}} = 39.43\frac{\mathrm{gpm}}{\mathrm{nozzle}} \times \frac{1\mathrm{m3/s}}{15850.32\ \mathrm{gpm}} = 0.00248\frac{\mathrm{m3/s}}{\mathrm{nozzle}}$$

Con la siguiente gráfica se determinó el modelo de nozzle requerido y la presión, según el flujo volumétrico.

Figura 76. Capacidad de nozzle



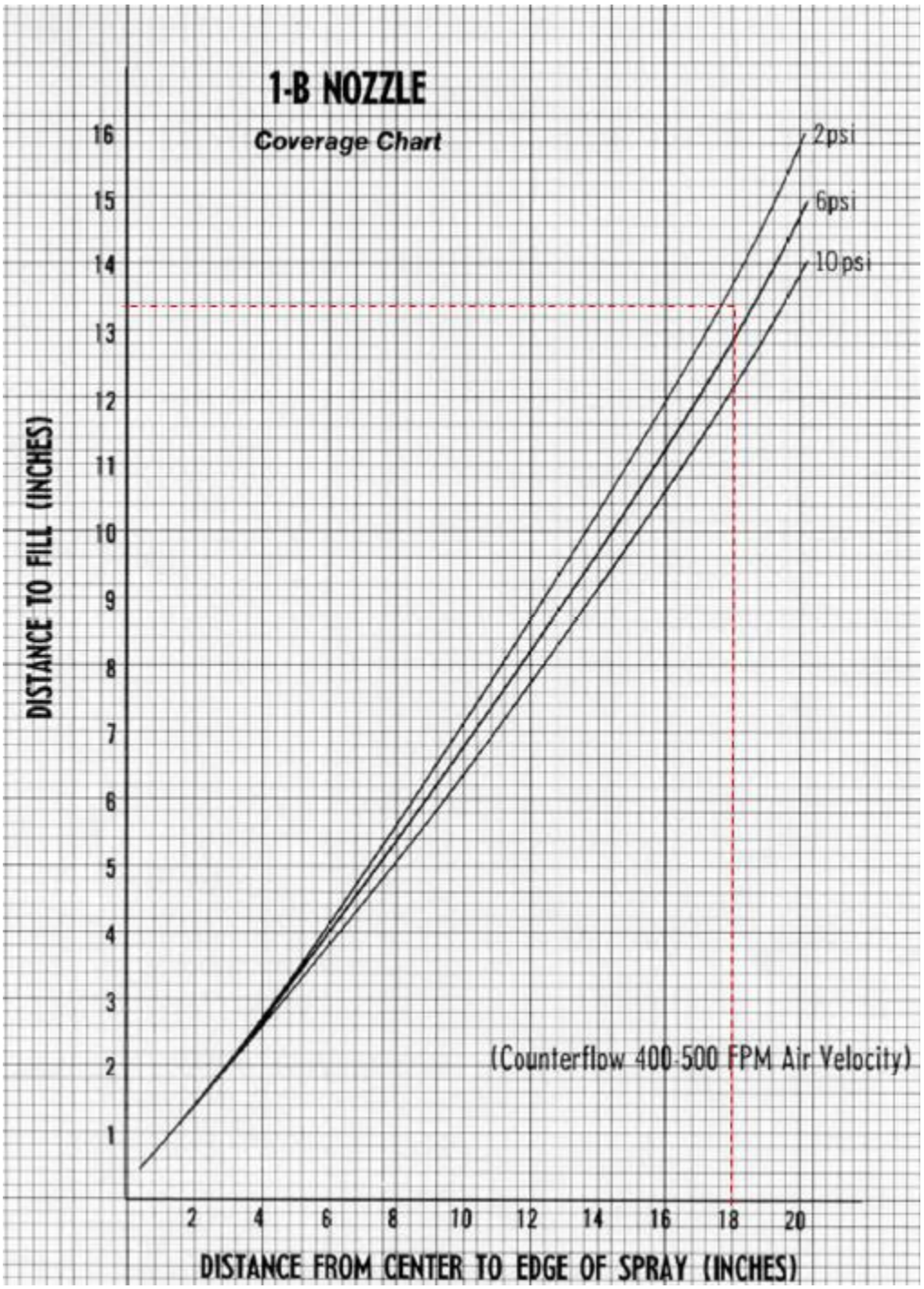
(Brentwood Industries, s.f)

Modelo: Nozzle I-B

Presión del agua en el nozzle: 3.2 psi (22063.2 Pa)

Con la presión del agua en el nozzle y la distancia del centro del nozzle al borde de la cobertura del nozzle (18 in), se determinó la distancia requerida entre los aspersores y el empaque.

Figura 77. Cobertura para el nozzle 1-B



Distancia de los aspersores al empaque = 13.2 in $\times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 0.34$ m

Se determinó con la Figura 139(página 607 anexos), el diámetro de los aspersores y de la tubería según el modelo seleccionado. Se obtuvo: Diámetro de nozzle: 4 in, diámetro de tubería: 3 in.

Cálculo 26. Altura total de la torre de enfriamiento

Para determinar la altura total de la torre se tomó en cuenta la altura del empaque, altura del colector y la distancia requerida entre los aspersores y el empaque.

$$H_{total} = 4\ m + 1.097 + 0.34 = 5.41\ m$$

Cálculo 27. Capacidad de la torre de enfriamiento

$$Q = \dot{m}Cp\Delta T = \ gpm\ \times 500 \times Rango$$

$$Capacidad = (760\ gpm) \times 500 \times (11.74°F) = 4{,}459{,}680\frac{Btu}{h} \div 12{,}000$$

$$Capacidad = 371.64\ toneladas\ de\ refrigeración$$

Cálculo 28. Eficiencia térmica de torre de enfriamiento

$$Eficiencia\ térmica = \frac{T_{L2} - T_{L3}}{T_{L2} - Tw} \times 100$$

$$Eficiencia\ térmica = \frac{(37.52-31)℃}{(37.52-25.65)℃} \times 100 = 54.9\%$$

Cálculo 29. Capacidad del ventilador

$$\rho_{gas} = \left(\frac{1\ kmol}{22.41\ m^3}\right)\left(\frac{29\ kg}{kmol}\right)\left(\frac{273.15\ K}{34.69 + 273.15\ K}\right) = 1.1519\ \frac{kg}{m^3}$$

$$G_s' = 51.38\frac{kg}{s} \times \frac{m^3}{1.1519\ kg} \times \frac{3600\ s}{1\ h} = 160{,}553.49\ m^3/h$$

Cálculo 30. Presión estática del ventilador

Según la velocidad del aire y el flujo de agua en la torre, en la Figura 135(página 604 anexos) se proporciona el No. De pérdida de presión dinámica por unidad de profundidad del empaque. Se tiene un valor de 2.62.

$$Caída\ de\ presión\ dinámica = 2.62 \times altura\ de\ empaque$$

$$Caída\ de\ presión\ dinámica = 2.62 \times 3.31\ m = 8.66\ m$$

$$Caída\ de\ presión\ estática = 8.66\ m + \frac{3m/s^2}{2 * 9.8\ m/s^2} = 52.76\ m \times 1.15\frac{kg}{m^3} \times\ 9.8\ m/s^2$$

$$Presión\ estática = 595.7\ Pa$$

Cálculo 31. Potencia requerida para accionar el ventilador

Según Mohiuddin y Kant, se tiene como regla gruesa que la potencia requerida para accionar el ventilador es de 1 hp (0.75 kW) por cada 226.3 m^3/min de aire descargado.

$$\frac{2675.89\text{m}^3}{\text{min}} \times \frac{0.75\text{ kW}}{226.3\frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = 8.86\text{ kW} \approx 9\text{ kW}$$

Cálculo 32. Determinación de pérdidas por evaporación

Las pérdidas por evaporación se pueden estimar mediante:

$$W_e = 0.00085 W_c (T_1 - T_2)$$

$$W_e = 0.00085\left(172.59\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)(37.52 - 31)℃ = 0.9563\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Cálculo 33. Determinación de pérdidas por arrastre y fugas

Las pérdidas por arrastre y fugas se pueden estimar con la siguiente ecuación:

$$W_d = 0.0002 W_c$$

$$W_d = 0.0002 \times 172.59\frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.0345\ \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Cálculo 34. Determinación del costo de las bomba 2x3-8 MTi en el ingenio a partir de costo EXW

Costo unitario de la bomba: $4792.90

$$\text{Costo en Quetzales} = \$4792.90 \times \frac{7.75\text{ quetzal guatemalteco}}{1\text{ dolar estadounidense}} = \text{Q}37{,}144.98$$

Se requiere de otra bomba para tenerla de backup, por lo que el costo total ExW es de Q74,289.95.

Se estimó que el Flete Miami-Guatemala corresponde a un 10%, el Flete de Guatemala al ingenio un 8%, el IVA es el 12%. Para este equipo se asumió que un 0% de arancel.

$$\text{Sub total} = (\text{Q}74{,}289.95 \times 0.10) + (\text{Q}74{,}289.95 \times 0.08) = \text{Q}87{,}662.14$$

$$\text{Costo del equipo en Guatemala} = \text{Q}87{,}662.14 + (\text{Q}87{,}662.14 \times 0.12) = \text{Q}98{,}181.60$$

$$\text{Costo del equipo en el ingenio} = \text{Q}98{,}181.60 + (\text{Q}98{,}181.60 \times 0.01) = \text{Q}99{,}163.41$$

Se realizó el mismo cálculo para los equipos en los cuales su costo cotizado estuviera en EXW.

3. Resultados intermedios

Cuadro 192. Caudal en salida del agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	09:46:00	3.30
		3.33
		3.29
	11:00:00	3.59
		3.33
		3.17
	12:47:00	3.27
		3.18
		3.13
Martes 13 de marzo 2018	08:40:00	3.75
		3.63
		3.62
	09:27:00	3.50
		3.30
		3.15
	10:30:00	3.43
		3.51
		3.73
	13:03:00	3.45
		3.83
		3.31
Sábado 24 de marzo 2018	10:55:00	2.32
		2.28
		1.91
	13:00:00	1.84
		2.30
		2.19
	13:45:00	2.04
		2.08
		2.09

Cuadro 193. Caudal promedio para agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
3.03	0.64

Cuadro 194. T. prom. del agua de enfriamiento de cristalizadores de masa tercera

Promedio (˚C)	Desviación estándar
36.40	1.96

Cuadro 195. Caudal en salida del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	09:50:00	3.00
		3.04
		3.02
	11:06:00	2.98
		2.92
		2.93
	12:49:00	2.98
		3.00
		2.99
Martes 13 de marzo 2018	08:44:00	2.94
		2.97
		2.97
	09:30:00	2.81
		2.57
		2.77
	10:35:00	2.88
		2.93
		2.92
	13:04:00	2.89
		2.91
		2.65
Sábado 24 de marzo 2018	11:00:00	3.45
		3.48
		3.46
	13:03:00	3.33
		3.11
		3.33
	13:48:00	3.00
		3.20
		3.67

Cuadro 196. Caudal promedio del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
3.04	0.25

Cuadro 197. Te. prom. del agua de bandejas de cristalizadores de masa tercera

Promedio (˚C)	Desviación estándar
31.50	1.27

Cuadro 198. Caudal en salida del agua de bombas de vacío de filtros rotativos

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	10:11:00	8.11
		7.50
		8.25
	11:30:00	8.03
		8.74
		7.95
	13:06:00	9.09
		11.10
		11.66
		10.69
Martes 13 de marzo 2018	09:07:00	9.38
		10.59
		11.75
	09:41:00	10.55
		11.10
		10.24
	10:47:00	10.33
		9.91
		10.59
	12:56:00	11.67
		11.84
		10.53
Sábado 24 de marzo 2018	11:21:00	6.51
		6.62
		6.49
	13:13:00	7.80
		8.18
		7.66

Cuadro 199. Promedio del caudal del agua bombas de vacío de los filtros rotativos

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
9.21	1.71

Cuadro 200. Temperatura prom. Del efluente de las bombas de vacío de los filtros rotativos

Promedio (˚C)	Desviación estándar
42.20	1.81

Cuadro 201. Caudal en salida del agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	10:18:00	3.88
		4.21
		3.42
		3.51
	11:33:00	3.30
		3.59
		3.44
	13:10:00	5.01
		5.05
		4.95
Martes 13 de marzo 2018	09:01:00	2.53
		2.73
		2.47
	09:43:00	2.63
		2.65
		2.93
	10:50:00	2.71
		2.67
		2.60
	12:58:00	2.60
		2.75
		2.64
Sábado 24 de marzo 2018	11:28:00	2.87
		2.85
		2.70
	14:58:00	2.88
		2.66
		2.70
		2.91
	14:06:00	2.76
		2.76
		2.43
		2.76

Cuadro 202. Caudal promedio para agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
3.11	0.74

Cuadro 203. Temperatura prom. del agua de limpieza de bandas transportadoras de cachaza

Promedio (˚C)	Desviación estándar
31.11	1.54

Cuadro 204.Caudal determinado en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8

Día	Hora	m^3/h
Jueves 1 de marzo 2018	10:25:00	0.51
		0.44
		0.51
	11:43:00	0.20
		0.20
		0.18
	13:19:00	0.21
		0.52
		0.23
		0.59
		0.23
		0.18
Martes 13 de marzo 2018	09:15:00	0.33
		0.33
		0.38
		0.40
	09:57:00	0.39
		0.24
		0.32
		0.28
		0.27
	11:00:00	0.35
		0.03
	13:14:00	0.49
		0.64
		0.33

Cuadro 205. Caudal en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8 (cont.)

Día	Hora	m3/h
Sábado 24 de marzo 2018	10:35:00	0.41
		0.32
		0.46
		0.31
		0.47

Cuadro 206. Caudal en la salida del agua enfriamiento de centrifugas G8

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Sábado 24 de marzo 2018	13:27:00	0.38
		0.50
		0.37
	11:43:00	0.46
	14:13:00	0.46
		0.28
	13:19:00	0.40
		0.54
		0.31
		0.50

Cuadro 207. Caudal promedio determinado para el agua de enfriamiento de centrifugas G8

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
0.36	0.13

Cuadro 208. Promedio de temperatura del agua de enfriamiento de centrifugas G8

Promedio (˚C)	Desviación estándar
51.90	2.13

Cuadro 209. Caudal en salida de agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	11:14:00	3.69
		3.78
		3.76
	13:00:00	4.94
		4.18
		4.00
	13:37:00	6.72
		4.64
		4.39
		3.84
Martes 13 de marzo 2018	09:33:00	3.57
		3.05
		1.71
	10:40:00	2.98
		2.98
		3.36
	11:34:00	3.52
		2.98
		2.93
	13:09:00	3.67
		3.65
		3.24
Sábado 24 de marzo 2018	11:42:00	3.15
		3.25
		3.24
	13:07:00	4.83
		4.37
		3.59
	13:54:00	4.41
		3.83
		3.72
		3.25

Cuadro 210. Caudal prom. para agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
3.73	0.85

Cuadro 211. T prom. del agua de bombas de transferencia, de vacío y de meladura

Promedio (˚C)	Desviación estándar
35.70	1.73

Cuadro 212. Caudal determinado en la salida del agua de bombas de refinería

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Martes 13 de marzo 2018	10:23:00	0.21
		0.19
		0.20
	11:40:00	0.20
		0.17
		0.17
	12:45:00	0.18
		0.18
		0.18
	13:23:00	0.21
		0.18
		0.18
Sábado 24 de marzo 2018	10:22:00	0.26
		0.17
		0.27
	13:35:00	0.20
		0.22
		0.20
	14:26:00	0.18
		0.19
		0.19

Cuadro 213. Promedio del caudal determinado para salida del agua de bombas de refinería

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
0.20	0.03

Cuadro 214. Promedio de la temperatura del agua de bombas de refinería

Promedio (˚C)	Desviación estándar
34.50	1.76

Cuadro 215. Caudal en la salida de bombas de transferencia de evaporadores

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Sábado 7 de abril 2018	13:35:00	0.11
		0.10
		0.09
		0.12
		0.10

Cuadro 216. Caudal promedio para efluente de bombas de transferencia de evaporadores

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
0.10	0.06

Cuadro 217. Temperatura prom. del agua de bombas de transferencia de evaporadores

Promedio (˚C)	Desviación estándar
33.83	1.04

Cuadro 218. Volumen y tiempo registrado en la salida del agua de hidrolavadora

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 1 de marzo 2018	11:28:00	0.61
		0.57
		0.56
Martes 13 de marzo 2018	08:50:00	
	09:49:00	5.76
		5.82
		4.71
		4.49
	10:55:00	2.05
		2.30
		1.90
	11:47:00	2.18
		1.77
		2.23

Cuadro 219. Promedio del caudal determinado para la salida de hidrolavadora

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
2.69	1.88

Cuadro 220. Promedio de la temperatura del agua de hidrolavadora

Promedio (˚C)	Desviación estándar
37.50	5.92

Cuadro 221. Caudal determinado en la salida 1 del turbogenerador 4MW

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 12 de abril	12:30:00 p. m.	22.50
		30.56
		23.84
Viernes 13 de abril	9:14:00 a. m.	6.36
		7.02
		9.08
		6.35
	10:12:00 a. m.	7.33
		9.65
		5.73
		7.61
		8.64
		7.09
	11:24:00 a. m.	7.25
		6.56
		7.96
		8.48

Cuadro 222. Promedio del caudal determinado para salida 1 del turbogenerador 4MW

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
10.71	7.36

Cuadro 223. Promedio de temperatura del agua de salida del turbogenerador 4MW

Promedio (˚C)	Desviación estándar
21.50	0.50

Cuadro 224. Caudal determinado en la salida 2 del turbogenerador 4MW

Día	Hora	Caudal (m^3/h)
Jueves 12 de abril	12:30:00 p. m.	7.37
		9.40
		7.74
		8.97
		8.75
Viernes 13 de abril	9:14:00 a. m.	17.37
		17.78
		18.30
	10:00:00 a. m.	17.65
		16.00
		16.10
	11:20:00 a. m.	15.21
		20.52
		16.85
		20.11

Cuadro 225. Promedio del caudal determinado para la salida 2 del turbogenerador 4MW

Promedio (m^3/h)	Desviación estándar
14.54	4.69

Cuadro 226. Promedio de la temperatura del agua de salida 2 del turbogenerador 4MW

Promedio (˚C)	Desviación estándar
21.88	0.25

Cuadro 227. Sólidos suspendidos totales determinados para once efluentes

Muestra	Identificación	Solidos suspendidos totales (mg/L)	± mg/L
1	Salida agua de enfriamiento de cristalizadores de masa 3era	25.5833	0.1281
2	Salida agua de bandejas de cristalizadores de masa 3era	8.8889	0.0847
3	Tubo 2: salida agua de bombas de vacío filtros rotativos	24.1667	0.1727
4	Tubo 4: Salida agua de limpieza de bandas de filtros de cachaza	20262.5000	5065.6274
5	Salida de agua centrifuga G8	17.6923	0.1362
6	Hidrolavadora	13.5000	0.1350
7	Tanque de recirculación	7.5419	0.0422
8	Bombas de refinería	73.8095	1.0546
9	Bombas de transferencia de evaporadores	43.6667	0.8734
10	Turbogenerador de 4 lazo izquierdo	12.0000	0.0801
11	Turbogenerador de 4 lazo derecho	0.1667	0.0017

Cuadro 228. Promedio de las propiedades químicas determinados para los efluentes

Efluente	Promedio y desviación estándar	pH	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (mg/L)
Enfriamiento de cristalizadores de masa 3era	Promedio	7.91	199.65	92.95	125.85
	Desviación estándar	0.32	30.19	12.80	1.27
Bandejas de cristalizadores de masa 3era	Promedio	8.48	184.90	85.60	116.47
	Desviación estándar	0.06	21.35	9.90	1.90
Bombas de vacío filtros rotativos	Promedio	8.38	218.50	99.70	132.99
	Desviación estándar	0.11	7.78	1.84	13.88
Limpieza de bandas de filtros de cachaza	Promedio	8.08	343.50	158.50	269.98
	Desviación estándar	0.03	65.76	31.82	147.05
Enfriamiento centrifugas G8	Promedio	8.78	316.50	146.00	141.91
	Desviación estándar	0.05	0.71	0.00	1.27
Bombas de transferencia, vacío y meladura	Promedio	7.21	290.50	134.00	135.40
	Desviación estándar	0.45	7.78	2.83	17.30
Bombas refinería	Promedio	6.91	218.35	100.70	110.54
	Desviación estándar	0.17	45.11	20.08	2.52

Cuadro 229. Promedio de propiedades analizadas de fuentes de abastecimiento de agua

Fuente	Temperatura (˚C)	pH	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (mg/L)
Pozo 4 (Virgen)	24.00	8.455	333	152.5	142.8
Pozo Hotel	23.50	7.595	221.5	101	150.935
Parábola	20.25	8.54	174.95	80.35	107.99
Tanque elevado	25.00	7.995	298	136.5	138.33
Pozo calderas	25.00	7.515	198	90.7	116.4685

Cuadro 230. Variables determinadas para las tuberías

Trayecto de tubería	Longitud total (m)	Velocidad lineal (m/s)	Área (m^2)	Número de Reynolds	Diámetro (m)	Diámetro nominal (m)	Diámetro interior (m)	Diámetro exterior (m)
Efluente de enfriamiento de cristalizadores hacía tanque de fábrica	11.10	5.00	5.42E-04	5.72E+04	0.0263	0.0254	0.0266	0.0334
Efluente de las bombas de vacío de filtros rotativos hacía tanque de fábrica	32.50	6.50	1.31E-03	1.28E+05	0.0408	0.0381	0.0409	0.0483
Efluente de enfriamiento de centrifugas G8 hacía tanque de fábrica	18.35	3.36	9.75E-05	2.39E+04	0.0111	0.00953	0.0125	0.0171
Efluente de hidrolavadora hacía tanque general en Patio de caña	43.00	1.52	4.52E-04	5.95E+04	0.0240	0.0254	0.0266	0.0334
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña	106.70	2.13	2.14E-03	1.64E+05	0.0522	0.0508	0.0525	0.0603
Alimentación de torre de enfriamiento	32.50	7.00	1.81E-02	4.81E+05	0.1518	0.1524	0.1541	0.1683

Cuadro 231. Accesorios para trayecto del efluente de cristalizadores a tanque de fábrica

Descripción	Cantidad	
Tubería 1" SC 40	11.1	m
Codo de 90° de 1"	4	unidad
Reducción concéntrica 4.0x1.0"	1	unidad

Cuadro 232. Accesorios para trayecto de bombas de vacío de filtros a tanque de fábrica

Descripción	Cantidad	
Tubería 1.5" SC 40	32.5	m
Codo de 45° de 1.5"	1	unidad
Codo de 90° de 1.5"	4	unidad
Reducción concéntrica 6.0x1.5"	1	unidad

Cuadro 233. Accesorios para efluente de enfriamiento de centrifugas G8 a tanque de fábrica

Descripción	Cantidad	
Tubería 3-8" SC 40	18.35	m
Codo de 45° de 3-8"	1	unidad
Codo de 90° de 3-8"	1	unidad
Reducción concéntrica 1.0x3/8"	1	unidad

Cuadro 234. Accesorios para efluente de hidrolavadora a tanque general en Patio

Descripción	Cantidad	
Tubería 1" SC 40	43	m
Codo de 45° de 1.0"	3	unidad
Codo de 90° de 1.0"	3	unidad
Reducción concéntrica 3.0x1.0"	1	unidad

Cuadro 235. Accesorios para efluente recolectado en tanque de fábrica a tanque de Patio

Descripción	Cantidad	
Tubería 2" SC 40	106.7	m
Codo de 45° de 2"	2	unidad
Codo de 90° de 2"	9	unidad

Cuadro 236. Accesorios para bomba que envía flujo del tanque de fábrica a colector

Válvulas y accesorios requeridos en la succión de la bomba que envía el flujo de agua del tanque de fábrica hacia el tanque colector.

Descripción	Cantidad	
T reductora 3-3-1"	1	unidad
Reducción concéntrica 1-1/2 " para instalación de manómetro	1	unidad
Manómetro	1	unidad
Expansión concéntrica 2- 3"	1	unidad
Válvula de compuerta 3"	1	unidad
Válvula de cheque 3"	1	unidad

Cuadro 237. Accesorios de bomba que envía flujo del tanque de fábrica a colector

Válvulas y accesorios requeridos en la descarga de la bomba que envía el flujo de agua del tanque de fábrica hacia el tanque colector.

Descripción	Cantidad	
T reductora 2-2-1"	1	unidad
Reducción concéntrica 1-1/2 " para instalación de manómetro	1	unidad
Manómetro	1	unidad
T reductora 2-2-1"	1	unidad
Válvula de globo 2"	1	unidad
Válvula de cheque 2"	1	unidad

Cuadro 238. Accesorios requeridos para trayecto de tubería del agua de alimentación a torre

Descripción	Cantidad	
Tubería 2" SC 40	32.5	m
Codo de 90° de 6"	7	unidad
T de 3"	1	unidad
Reducción concéntrica 6-3"	1	1

Cuadro 239. Accesorios en succión de bomba que envía flujo del tanque de colector a torre

	Cantidad	
T reductora 6-6-3"	1	unidad
Reducción concéntrica 3-1/2 " para instalación de manómetro	1	unidad
Manómetro	1	unidad
Válvula de compuerta 6"	1	unidad
Válvula de cheque 6"	1	unidad

Cuadro 240. Accesorios de bomba que envía flujo del tanque de colector a torre

Accesorios y válvulas para la descarga de la bomba

	Cantidad	
T reductora 4-4-2"	1	unidad
T reductora 6-6-3"	1	unidad
Reducción concéntrica 2-1/2 " para instalación de manómetro	1	unidad
Reducción concéntrica 3-1/2 " para instalación de manómetro	1	unidad
Manómetro	2	unidad
Válvula de globo 4"	1	unidad
Válvula de cheque 4"	1	unidad
Expansión concéntrica 4- 6"	1	unidad

Cuadro 241. Valores para determinar pérdidas por fricción, accesorios y superficie

Trayecto	Coeficiente de pérdida por fricción total (Kf)	Rugosidad relativa (k/D)	Factor de fricción de Fanning
Efluente de enfriamiento de cristalizadores hacía tanque de fábrica	3.0000	0.0017	0.0087
Efluente de las bombas de vacío de filtros rotativos hacía tanque de fábrica	3.3500	0.0011	0.0070
Efluente de enfriamiento de centrifugas G8 hacía tanque de fábrica	1.1000	0.0036	0.0070
Efluente de hidrolavadora hacía tanque general en Patio de caña	3.3000	0.0017	0.0084
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña	20.6200	0.0009	0.0065
Alimentación de torre de enfriamiento	24.2500	0.0003	0.0051

Cuadro 242. Pérdidas por fricción en contracción y expansión

	Contracción				Expansión			
Trayecto	Sb (in^2)	Sa (in^2)	Kc	hfc (m^2/s^2)	Sb (in^2)	Sa (in^2)	Ke	hfe (m^2/s^2)
Efluente de enfriamiento de cristalizadores hacía tanque de fábrica	12.566	0.785	0.435	0.435				
Efluente de las bombas de vacío de filtros rotativos hacía tanque de fábrica	28.274	1.767	0.375	0.736				
Efluente de enfriamiento de centrifugas G8 hacía tanque de fábrica	12.566	0.110	0.396	0.208				
Efluente de hidrolavadora hacía tanque general en Patio de caña	7.069	0.785	0.356	0.413				
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña					7.069	3.142	0.802	1.827
Alimentación de torre de enfriamiento	28.274	7.069	0.300	0.683	28.274	12.566	0.802	1.827

Cuadro 243. Pérdida total por fricción en cada trayecto del sistema de recirculación

Trayecto	hfs: por superficie (m^2/s^2)	hff: por accesorios (m^2/s^2)	hf: pérdida total por fricción (m)
Efluente de enfriamiento de cristalizadores hacía tanque de fábrica	16.836	3.484	2.116
Efluente de las bombas de vacío de filtros rotativos hacía tanque de fábrica	43.673	6.575	5.197
Efluente de enfriamiento de centrifugas G8 hacía tanque de fábrica	21.518	0.577	2.273
Efluente de hidrolavadora hacía tanque general en Patio de caña	62.971	3.832	6.852
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña	120.271	2.254	46.934
Alimentación de torre de enfriamiento	9.796	55.196	6.881

Cuadro 244. Cabeza total determinada para bomba según trayecto de tubería (Cont.)

Trayecto	Pa/ρg (m)	Za (m)	$\alpha a Va^2/2g_c$ (m)	Pb/ρg (m)	Zb (m)	$\alpha b Vb^2/2g_c$ (m)	Cabeza total (m)
Efluente de enfriamiento de cristalizadores hacía tanque de fábrica	1348.93	3.00	0.118	10.21	2.20	0.118	-1337.40
Efluente de las bombas de vacío de filtros rotativos hacía tanque de fábrica	423.49	4.00	0.200	10.23	2.00	0.200	-410.06
Efluente de enfriamiento de centrifugas G8 hacía tanque de fábrica	1166.95	2.50	0.053	10.28	2.00	0.053	-1154.90

Cuadro 245. Cabeza total determinada para bomba según trayecto de tubería (Cont.)

Trayecto	Pa/ρg (m)	Za (m)	$\alpha aVa^2/2g_c$ (m)	Pb/ρg (m)	Zb (m)	$\alpha bVb^2/2g_c$ (m)	Cabeza total (m)
Efluente de hidrolavadora hacía tanque general en Patio de caña	422.84	4.72	0.118	10.22	2.28	0.118	-408.21
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña	10.22	1.50	0.232	10.22	6.00	0.232	21.54
Alimentación de torre de enfriamiento	10.22	4.00	0.232	10.22	5.00	0.232	7.88

Cuadro 246. NPSH disponible determinado para las bombas dimensionadas

Trayecto	Pérdidas por fricción en la succión(m)	Presión sobre el líquido (m)	Altura del líquido (m)	Presión de vapor en la línea de succión (m)	NPSH disponible (m)
Efluente recolectado en tanque de fábrica hacía tanque de Patio de caña	1.16	10.22	1.00	0.68	9.38
Alimentación de torre de enfriamiento	1.76	10.22	1.50	0.62	9.34

Cuadro 247. Especificaciones de bomba para llevar flujo del tanque de fábrica al general

Especificaciones del proveedor para la bomba requerida para llevar el flujo del tanque de fábrica al tanque general.

Datos generales	
Caudal (m^3/h)	16.42
Potencia del motor (kW)	2.24
Cabeza (m)	21.5
Eficiencia (%)	50
NPSH requerido (m)	0.61
Equipo	
Empresa	Gould Pumps
Modelo	3196
Tipo	2x3-8 MTi
Velocidad (rpm)	1800
Material del impulsor	Hierro
Material de la carcasa	Hierro

Cuadro 248. Especificaciones de bomba requerida para llevar el flujo hacia la torre

Especificaciones del proveedor para la bomba requerida para llevar el flujo hacia la torre de enfriamiento.

Datos generales	
Caudal (m^3/h)	139.03
Potencia del motor (kW)	5.60
Cabeza (m)	10.15
Eficiencia (%)	78.5
NPSH requerido (m)	1.95
Equipo	
Empresa	Gould Pumps
Modelo	3196
Tipo	4x6-10 MTi
Velocidad (rpm)	1200
Material del impulsor	Hierro
Material de la carcasa	Hierro

Cuadro 249. Potencia hidráulica

Potencia hidráulica Bomba 2x3-8 MTi	Potencia hidráulica Bomba 4x6-10 MTi
1.11 kW	4.38 kW

Cuadro 250. Temperatura de bulbo húmedo y presión atmosférica promedio

Presión atmosférica promedio	Temperatura de bulbo húmedo
99527.57 Pa	25.65℃

Cuadro 251. Flujo de aire seco mínimo (Gs min) y flujo de aire real

Flujo de aire seco mínimo	Flujo de aire seco real
24.04 kg/s	51.38 kg/s

Cuadro 252. Factores para el relleno laminar, altura y número de unidades de transferencia

Factor característico para el relleno laminar	Altura de una unidad de transferencia	Número de unidades de transferencia
1.15 kg/m^3s	2.67 m	1.24

Cuadro 253. Flujo de agua y presión en boquilla de aspersión

Flujo de agua por aspersor	Presión del agua en los aspersores
$\mathbf{0.00248 \frac{m^3/s}{nozzle}}$	22063.2 Pa

Cuadro 254. Pérdidas por evaporación y arrastre determinadas para la torre

Pérdidas por evaporación	Pérdidas por arrastre y fugas
$\mathbf{0.9563 \frac{m^3}{h}}$	$0.0345 \frac{m^3}{h}$

Cuadro 255.Costos por tuberías, accesorios, instrumento y válvulas por trayecto

Trayecto	ITEM	Cantidad		Costo		Total
P-001	Tubería 1" SC 40	36.4	ft	Q5.21	ft	Q189.73
	Codo de 90° de 1"	7.0	unidad	Q7.80	unidad	Q54.60
	Reducción concéntrica 4.0x1.0"	1.0	unidad	Q280.00	unidad	Q280.00
P-002	Tubería 1.5" SC 40	106.6	ft	Q18.00	ft	Q1,919.29
	Codo de 45° de 1.5"	1.0	unidad	Q18.00	unidad	Q18.00
	Codo de 90° de 1.5"	4.0	unidad	Q18.00	unidad	Q72.00
	Reducción concéntrica 6.0x1.5"	1.0	unidad	Q640.00	unidad	Q640.00
P-003	Tubería 3-8" SC 40	60.2	ft	Q5.13	ft	Q308.84
	Codo de 45° de 3-8"	1.0	unidad	Q139.00	unidad	Q139.00
	Codo de 90° de 3-8"	1.0	unidad	Q72.00	unidad	Q72.00
	Reducción concéntrica 1.0x3/8"	1.0	unidad	Q160.00	unidad	Q160.00
P-004	Tubería 1" SC 40	141.1	ft	Q5.21	ft	Q735.01
	Codo de 45° de 1.0"	3.0	unidad	Q1.00	unidad	Q3.00
	Codo de 90° de 1.0"	3.0	unidad	Q9.00	unidad	Q27.00
	Reducción concéntrica 3.0x1.0"	1.0	unidad	Q145.00	unidad	Q145.00
	Tubería 2" SC 40	350.1	ft	Q11.34	ft	Q3,969.74
P-005	Codo de 45° de 2"	2	unidad	Q28.00	unidad	Q56.00
	Codo de 90° de 2"	9	unidad	Q19.00	unidad	Q171.00
	Switch tipo flote	2	unidad	Q336.80	unidad	Q673.60
	Controlador	1	unidad	Q1705.0	unidad	Q1750.0
	Succión de la bomba					
	T reductora roscada 3-3-1"	2	unidad	Q163.60	unidad	Q327.20
	Reducidor bushing roscable 1-3/8 " para instalación de manómetro	2	unidad	Q160.00	unidad	Q320.00
	Manómetro	2	unidad	Q594.26	unidad	Q1,188.52
	Expansión concéntrica 2- 3"	1	unidad	Q48.00	unidad	Q48.00
	Válvula de compuerta 3"	2	unidad	Q1,752.00	unidad	Q3,504.00
	Válvula de cheque 3"	2	unidad	Q1,892.00	unidad	Q3,784.00
	Descarga de la bomba					
	T reductora 2-2-1"	2	unidad	Q90.84	unidad	Q181.68
	Reducidor bushing 1-3/8 " para instalación de manómetro	2	unidad	Q160.00	unidad	Q320.00
	Manómetro	2	unidad	Q594.26	unidad	Q1,188.52
	Válvula de globo 2"	2	unidad	Q1,840.00	unidad	Q3,680.00
	Válvula de cheque 2"	2	unidad	Q960.00	unidad	Q1,920.00

Cuadro 256. Costos por tuberías, accesorios y válvulas por trayecto (cont.)

Trayecto	ITEM	Cantidad		Costo		Total
P-006	Tubería 6" SC 40	106.6	ft	Q55.78	ft	Q5,947.67
	Tubería 3" SC 40	65.6	ft	Q23.58	ft	Q1,546.85
	Codo de 90° de 6"	7	unidad	Q180.00	unidad	Q1,260.00
	T de 3"	1	unidad	Q86.00	unidad	Q86.00
	Reducción concéntrica 6-3"	1	unidad	Q145.00	unidad	Q145.00
	Succión de la bomba					
	T reductora 6-6-3"	2	unidad	Q375.27	unidad	Q750.54
	Reducidor bushing 3-1/2" para instalación de manómetro	2	unidad	Q160.00	unidad	Q320.00
	Manómetro	2	unidad	Q594.26	unidad	Q1,188.52
	Válvula de compuerta 6"	2	unidad	Q2,960.00	unidad	Q5,920.00
	Válvula de cheque 6"	2	unidad	Q3,785.00	unidad	Q7,570.00
	Descarga de la bomba					Q0.00
	T reductora 4-4-2"	2	unidad	Q375.27	unidad	Q750.54
	T reductora 6-6-3"	2	unidad	Q375.27	unidad	Q750.54
	Reducción bushing 2-1/2 " para instalación de manómetro	2	unidad	Q28.00	unidad	Q56.00
	Reducción bushing 3-1/2 " para instalación de manómetro	2	unidad	Q160.00	unidad	Q320.00
	Manómetro	4	unidad	Q594.26	unidad	Q2,377.04
	Válvula de globo 4"	2	unidad	Q3,760.00	unidad	Q7,520.00
	Válvula de cheque 4"	2	unidad	Q1,260.00	unidad	Q2,520.00
	Expansión concéntrica 4- 6"	2	unidad	Q136.00	unidad	Q272.00
					Costo total	Q67,101.44

Cuadro 257. Costos por bombas

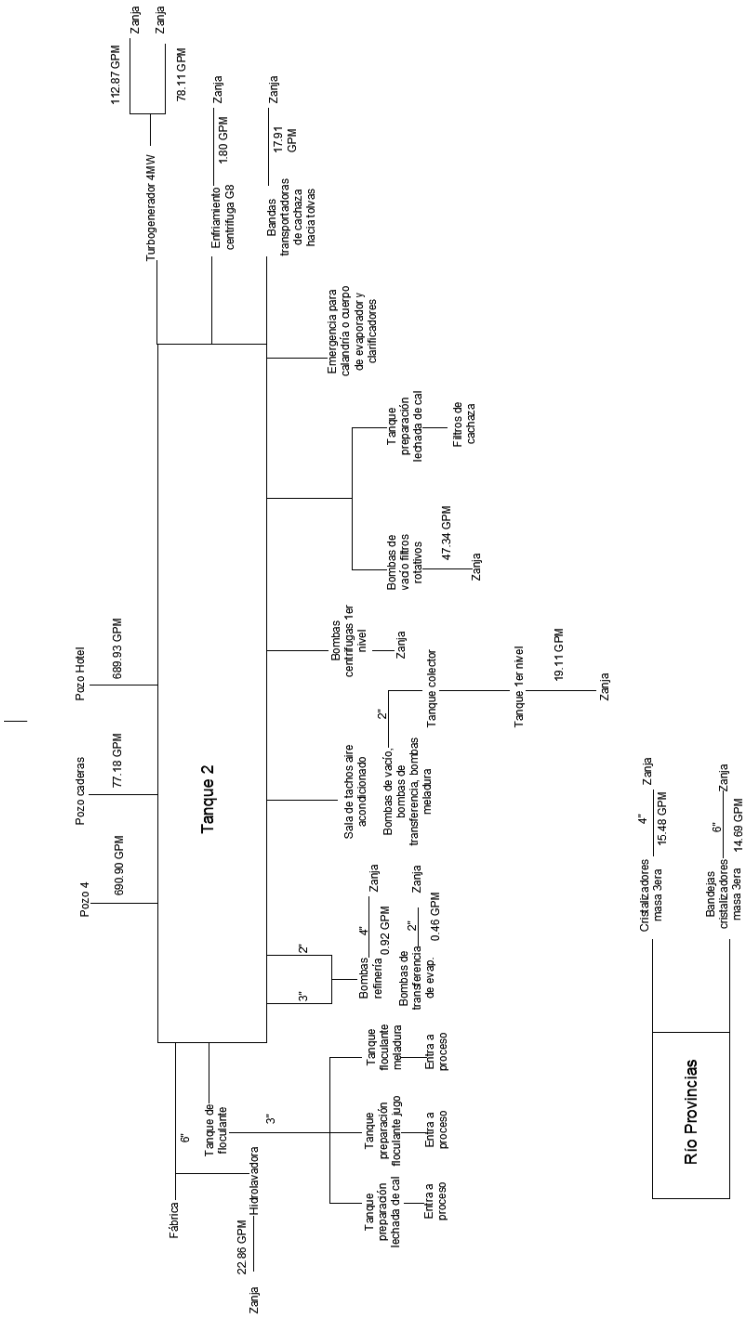
ITEM	Cantidad	Costo	Total
Bomba 2x3-8 MTi Hierro	2	Q37,144.98	Q74,289.95
Total ExW			Q74,289.95
Flete Miami - Guatemala		10%	Q7,429.00
Flete Guatemala - Ingenio		8%	Q5,943.20
Sub total			Q87,662.14
IVA		12%	Q10,519.46
Arancel		0%	0
Total equipo en Guatemala			Q98,181.60
Otros		1%	Q981.82
Total equipo puesto en el ingenio			Q99,163.41

Cuadro 258.Costo de torre propuesta para sistema general de recirculación

ITEM	Cantidad	Costo	Total
Torre de enfriamiento tipo paquete contraflujo tiro inducido. Modelo 883/4	1	Q 300.950,73	Q 300.950,73
RTD, señal Pt100	2	Q 405,94	Q 811,88
Transmisor de temperatura	2	Q 3.359,00	Q 6.718,00
Sensor y transmisor de humedad	1	Q 2.391,67	Q 2.391,67
Bomba 4x6-10G Hierro	2	Q 58.875,00	Q 117.750,00
Total ExW			Q 428.622,28
Flete Miami - Guatemala		10%	Q 42.862,23
Flete Guatemala - Ingenio		8%	Q 34.289,78
Sub total			Q 505.774,29
IVA		12%	Q 60.692,91
Arancel		0%	Q -
Total equipo en Guatemala			Q 566.467,21
Otros		1%	Q 5.664,67
Total equipo puesto en el ingenio			Q 572.131,88

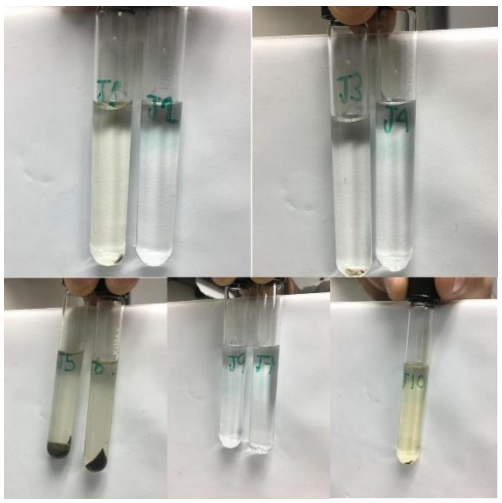
4. Diagrama de bloques de la distribución del agua en fábrica

Figura 78. Diagrama de distribución del agua del tanque elevado a fábrica



5. Análisis de grasas y aceites

Figura 79. Resultados obtenidos para el análisis de grasas y aceites



D. Módulo 4: Área de calderas y cogeneración

1. Cálculos realizados

a. Cálculos para el análisis de los efluentes

A continuación, se detalla un ejemplo de los cálculos realizados para el análisis de los efluentes de agua, diseño del tanque y sistema de bombeo. El cálculo de muestra se repite para el resto de los análisis realizados en los equipos y sistemas, por lo que solo se muestra un ejemplo como representación y entendimiento del lector.

Cálculo 1. Determinación del caudal para efluentes de agua en los equipos analizados.

El caudal se define como volumen de agua entre tiempo. De esta forma, considerando los valores de volumen y tiempo para la bomba 1 de la caldera 6 tomados en fecha 10/03/2018:

$$q = \frac{V}{t} = \frac{9.0\ m^3}{6.57\ s} = 1.3 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo 2. Determinación de la dureza en términos de mg $CaCO_3$/L para una muestra del efluente de agua de los equipos analizados.

Empleando una disolución 1:5 de la muestra analizada, se determina por valoración que para alcanzar el punto de viraje de la solución se requirió 1.4 °d de EDTA (solución titulante). Esto se expresa en términos de la solución sin diluir:

$$1.4\ °\text{d}\left(\frac{5\ \text{mL de solución}}{1\ \text{mL de solución}}\right) = 7.0\ °\text{d}$$

A partir del Cuadro 26 en el apartado de metodología, se indica que para determinar la concentración de $CaCO_3$ en ppm se debe multiplicar el resultado de los grados alemanes (°d) por el factor de 17.85:

$$7.0\ °\text{d}\left(\frac{17.85\ \text{ppm}\ CaCO_3}{1\ °\text{d}}\right) = 124.9\ \text{ppm de}\ CaCO_3$$

Cálculo 3. Determinación de la densidad para los efluentes de agua en los equipos analizados

La densidad se define como el cociente de la masa de una muestra y su volumen a cierta temperatura según la ecuación 25 en el apartado de metodología. De esta forma, considerando la muestra de la bomba 2 de la caldera 5 tomada en fecha 07/04/2018, se obtiene:

$$\rho = \frac{\text{m}}{\text{V}} = \frac{24.9082\ \text{g}}{25.00\ \text{mL}} = 0.9963\frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

Cálculo 4. Determinación de los sólidos suspendidos para los efluentes de agua en los equipos analizados.

La cantidad de sólidos suspendidos totales se determina a partir de la ecuación 27 en el apartado de metodología. Considerando la muestra obtenida de la planta de tratamiento de agua desmineralizada en fecha 19/04/2018, se tiene que:

Volumen de la muestra analizada: 400 mL

Masa del filtro seco y tarado: 0.3954 g

Masa del filtro y el residuo seco: 0.3964 g

$$\text{TSS} = \frac{0.3964\ \text{g} - 0.3954\ \text{g}}{400\ \text{mL}\left(\frac{1000\ \text{mL}}{1\ \text{L}}\right)} = 0.002\ \frac{\text{g sólidos suspendidos}}{\text{L muestra}}$$

Cálculo 5. Determinación de la viscosidad cinemática para los efluentes de agua en los equipos analizados.

La viscosidad se determina a partir de la $\mu = t \cdot k$ [Ecuación 26 en el apartado de metodología. Considerando la muestra obtenida de la bomba 1 de las calderas 1 y 2 en fecha 19/04/2018, se obtiene:

$$\mu = t \cdot k = (10.83\ \text{s}) \cdot (0.09580) = 1.037\ \text{cSt}$$

b. Cálculos para determinar la temperatura a la salida de la nueva propuesta de circulación de agua de enfriamiento en serie.

Cálculo 6. Determinación de la temperatura del efluente de agua de enfriamiento de la bomba 2 de las calderas 4 y 7 bajo la nueva propuesta de circulación del agua en serie.

Se debe determinar el flujo másico de cada efluente en los distintos puntos de enfriamiento de la bomba, por lo que se deben multiplicar por la densidad a la temperatura de salida; la densidad se interpolo a partir de una serie de datos de densidades del agua a distintas temperaturas dada por (Green & Perry, 2008) y con la función "PRONÓSTICO" de Microsoft Excel. Tomando como ejemplo el punto 1 de la bomba (también podría tomarse el conjunto de salidas, puesto que todos los efluentes se juntan y desembocan en la canaleta):

$$\dot{m} = q \cdot \rho = \left[1.54 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \left(\frac{3.78541\ \text{L}}{1\ \text{gal}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}^3}{1000\ \text{L}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)\right] \cdot 996.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.096 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ahora se debe determinar la capacidad calorífica del efluente de agua a su temperatura absoluta en Kelvin, puesto que la capacidad calorífica a presión constante es dependiente de la temperatura. Para esto se emplea la fórmula y constantes del agua dadas por (Green & Perry, 2008) y el peso molecular de agua para expresar el término en función masa.

Para el agua se tiene las siguientes constantes:

$$c_1 = 276370$$

$$c_2 = -2090.1$$

$$c_3 = 8.125$$

$$c_4 = -0.014116$$

$$c_5 = 9.3701 \cdot 10^{-6}$$

Entonces, para el punto 1, $T = 28.0 = 301.2$ K:

$$C_p = \frac{c_1 + c_2 \cdot T + c_3 \cdot T^2 + c_4 \cdot T^3 + c_5 \cdot T^5}{1000} = 75.34 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}} \left(\frac{18.015\ \text{kg}\ H_2O}{\text{kmol}\ H_2O}\right) = 4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Al conocer el flujo másico y la capacidad calorífica del agua a la temperatura de salida, se puede determinar el calor absorbido del efluente como sigue y considerando como temperatura inicial la del tanque elevado de fábrica (que es la fuente de agua en este caso, puesto que en los inducidos de la caldera 5 la fuente es la torre de enfriamiento del bloque 1). Entonces:

$$\dot{Q} = \dot{m}\, C_P\, \Delta T = \left(0.096 \frac{kg}{s}\right)\left(4.182 \frac{kJ}{kg\ K}\right)[(28.0 + 273.15) - (25.0 + 273.15)]K = 1.21\ kJ/s$$

Con los valores de flujo de calor para el efluente de cada punto de enfriamiento en la bomba, se considera que, de pasar un único flujo por todos los puntos, este deberá absorber el calor determinado en cada punto, por lo que el calor que recibirá será la suma de lo determinado para cada uno de los puntos del equipo. Con este flujo de calor total, un valor promedio de la capacidad calorífica para los puntos determinados (una aproximación válida por la diferencia de temperatura pequeña), la temperatura del agua de entrada, y caudal promedio obtenido a partir del caudal de los cinco puntos de enfriamiento (no del flujo total, puesto que entonces no habría ahorro de agua), se determina la temperatura a la salida del equipo:

$$\dot{Q} = \dot{m}\, C_P\, \Delta T = \dot{Q} = \dot{m}\, C_P\, (T_f - T_0)$$

$$T_f = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}\, C_P} + T_0 = \frac{26.41 \frac{kJ}{s}}{(0.387 \frac{kg\ H_2O}{s})(\ 4.182 \frac{kJ}{kg\ K}\ )} + (25.0 + 273.15)K = 314.46\ K = 41.31°C$$

El considerar un caudal promedio es solo una consideración de la operación usual del ingenio, pero puede variar por encima o debajo del valor usado; lo importante es que el operador puede variar el flujo de agua según los requerimientos de la bomba, por lo que será poco común que opere a un flujo mínimo.

c. Cálculos para las propiedades del agua en el tanque receptor

Cálculo 7. Determinación de la temperatura final en el tanque receptor tras la mezcla de los efluentes de los equipos analizados.

Se debe determinar el flujo másico de los efluentes de los equipos analizados, por lo que se deben multiplicar por la densidad a la temperatura de cada uno; la densidad se interpolo a partir de una serie de datos de densidades del agua a distintas temperaturas dada por (Green & Perry, 2008) y con la función "PRONÓSTICO" de Microsoft Excel. Considerando el caudal promedio y las temperaturas de operación promedio máximas para la bomba 1 de la caldera 6, se obtiene:

$$\dot{m} = q \cdot \rho = \left[8.83 \frac{gal}{min}\left(\frac{3.78541\ L}{1\ gal}\right)\left(\frac{1\ m^3}{1000\ L}\right)\left(\frac{1\ min}{60\ s}\right)\right] \cdot 994.19 \frac{kg}{m^3} = 0.553 \frac{kg}{s}$$

Ahora se debe determinar la capacidad calorífica del efluente de agua a su temperatura absoluta en Kelvin, puesto que la capacidad calorífica a presión constante es dependiente de la temperatura. Para esto se emplea la fórmula y constantes del agua dadas por (Green & Perry, 2008) y el peso molecular de agua para expresar el término en función masa.

Para el agua se tiene las siguientes constantes:

$c_1 = 276370$

$c_2 = -2090.1$

$c_3 = 8.125$

$c_4 = -0.014116$

$c_5 = 9.3701 \cdot 10^{-6}$

Entonces, para una $T_{máx} = 33.65 = 306.80$ K:

$$C_p = \frac{c_1 + c_2 \cdot T + c_3 \cdot T^2 + c_4 \cdot T^3 + c_5 \cdot T^5}{1000} = 75.28 \frac{kJ}{kmol\ K}\left(\frac{18.015\ kg\ H_2O}{kmol\ H_2O}\right) = 4.179 \frac{kJ}{kg\ K}$$

Al conocer el flujo másico y la capacidad calorífica del agua a la temperatura promedio máxima de salida, se puede determinar la temperatura final de la mezcla de efluentes en el tanque receptor al calcular el flujo de calor de cada efluente y considerando como temperatura final un valor arbitrario (por el momento) y temperatura inicial la de salida del efluente del equipo.

$$\dot{Q} = \dot{m}\ C_P\ \Delta T = \left(0.553 \frac{kg}{s}\right)\left(4.179 \frac{kJ}{kg\ K}\right)[(34.37 + 273.15) - (33.65 + 273.15)]K = 1.677\ kJ/s$$

Con los valores de flujo de calor para los distintos efluentes de los equipos analizados, se procede a usar la función “Buscar objetivo” de Microsoft Excel, en donde se establece que la suma de los flujos de calor debe ser igual a cero (asumiendo que no hay pérdidas de calor) y cambiando el valor de la celda donde se definió la temperatura final arbitraria. Esto determinará la temperatura final del tanque receptor de agua, la cual es de 34.37 °C.

Es importante resaltar que, en la propuesta de enfriamiento en serie para los distintos puntos de las bombas de inyección de agua a calderas, ventiladores inducidos de la caldera 5 y unidades hidráulicas de los turbogeneradores TRONA y Condensing, se determinó el flujo de calor para cada punto y la suma de los flujos de calor para los distintos puntos se consideró como el flujo de calor total y que será transmitido al único flujo de agua que pase por todos los puntos del equipo o equipos; este único flujo será el flujo promedio obtenido a partir de la medición de caudal del punto en donde se tomará el agua para enfriar el resto de puntos.

Cálculo 8. Determinación del pH final en el tanque receptor tras la mezcla de los efluentes de los equipos analizados.

Aquí es importante resaltar que no se obtuvo el valor de pH de todos los equipos cuyos efluentes se dirigirán hacia el tanque receptor, por lo que solo se evalúan los efluentes de aquellos equipos cuyos efluentes sí fueron analizados. No se obtendrá un valor real del pH final del tanque, aunque sí puede ser tomado como una aproximación de las condiciones finales.

Primero se calcula el caudal promedio a la salida de los equipos en litros/segundo. Para los ventiladores inducidos de la caldera 5 se usa como caudal el correspondiente al del ventilador 1 del lado de la bomba, puesto que es de este dónde se propone salga el caudal que alimente al resto de equipos:

$$\mathrm{q} = 9.75\ \frac{\mathrm{gal}}{\mathrm{min}}\left(\frac{3.78541\ \mathrm{L}}{1\mathrm{gal}}\right)\left(\frac{1\ \mathrm{min}}{60\ \mathrm{s}}\right) = 0.614\ \mathrm{L/s}$$

El valor de pH de los equipos se expresa en términos de concentración del ion H^+. Como se determinó el valor de pH para los 4 puntos de análisis de los ventiladores inducidos de la caldera 5, se toma como único valor el del primer ventilador de lado de la bomba, que es dónde se tomará el flujo para alimentar el resto de los puntos. Entonces, considerando el valor máximo de pH registrado:

$$\mathrm{pH} = 8.89$$

Como el pH se define como: $\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H}^+]$, entonces:

$$[\mathrm{H}^+] = 1 \cdot 10^{(-\mathrm{pH})} = 1 \cdot 10^{(-8.89)} = 1.29 \cdot 10^{-9}\frac{\mathrm{mol\ H}^+}{\mathrm{L}}$$

Se determina el flujo molar de iones H^+ al multiplicar la concentración por el flujo de agua:

$$\mathrm{q} \cdot [\mathrm{H}^+] = \left(0.614\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}}\right)\left(1.29 \cdot 10^{-9}\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{L}}\right) = 7.93 \cdot 10^{-10}\frac{\mathrm{mol\ H}^+}{\mathrm{s}}$$

Se determina el pH final del agua en el tanque receptor partiendo de la suma de los flujos molares de iones H+ de los equipos analizados, convirtiendo este valor a concentración de iones H+ con el caudal total de los equipos y por último a pH, esto es, partiendo en reversa del procedimiento previo que se realizó.

$$[\mathrm{H}^+]_{\mathrm{final}} = \frac{\text{flujo molar total de iones } \mathrm{H}^+}{\text{caudal total de los efluentes}} = \frac{7.93 \cdot 10^{-8}\frac{\mathrm{mol\ H}^+}{\mathrm{s}}}{6.321\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}}} = 1.26 \cdot 10^{-8}\frac{\mathrm{mol\ H}^+}{\mathrm{L}}$$

$$\mathrm{pH}_{\mathrm{final}} = -\log\left(1.26 \cdot 10^{-8}\frac{\mathrm{mol\ H}^+}{\mathrm{L}}\right) = 7.90$$

Cálculo 9. Determinación de la dureza final en el tanque receptor tras la mezcla de los efluentes de los equipos analizados.

Es importante resaltar que no se obtuvo el valor de dureza de todos los equipos cuyos efluentes se dirigirán hacia el tanque receptor, por lo que solo se evalúan los efluentes de aquellos equipos cuyos efluentes sí fueron analizados. No se obtendrá un valor real de la dureza final del tanque, aunque sí puede ser tomado como una aproximación de las condiciones finales.

Primero se calcula el caudal promedio a la salida de los equipos en litros/segundo. Para la turbo bomba 3 de las calderas 1 y 2 se usa como caudal el promedio de los tres puntos de enfriamiento correspondientes al equipo; este será la referencia de operación en el caso de tomar una sola línea que enfríe los distintos puntos en serie.

$$\mathrm{q} = 4.58\ \frac{\mathrm{gal}}{\mathrm{min}}\left(\frac{3.78541\ \mathrm{L}}{1\mathrm{gal}}\right)\left(\frac{1\ \mathrm{min}}{60\ \mathrm{s}}\right) = 0.289\ \mathrm{L/s}$$

Para este equipo se obtuvieron dos datos de dureza para la mezcla del agua de los puntos de enfriamiento. Se determina el flujo másico de $CaCO_3$ al multiplicar el caudal con la concentración máxima de $CaCO_3$ registrada.

$$\text{Flujo másico de } \mathrm{CaCO_3} = \left(0.289\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}}\right)\left(\frac{135.66\mathrm{mgCaCO_3}}{\mathrm{L}}\right) = 39.2\frac{\mathrm{mgCaCO_3}}{\mathrm{s}}$$

Se obtiene la sumatoria de todos los flujos másicos de $CaCO_3$ para los distintos equipos analizados por el mismo procedimiento. Se obtiene la dureza final en el tanque receptor como la división del flujo másico total de $CaCO_3$ y la suma de los efluentes de los equipos analizados.

$$\text{Dureza final} = \frac{\text{flujo másico total de } \mathrm{CaCO_3}}{\text{Caudal total de los efluentes}} = \frac{1480.3\frac{\mathrm{mgCaCO_3}}{\mathrm{s}}}{6.744\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{s}}} = 219.49\frac{\mathrm{mgCaCO_3}}{\mathrm{L}}$$

Cálculo 10. Determinación de la salinidad final en el tanque receptor tras la mezcla de los efluentes de los equipos analizados.

Es importante resaltar que no se obtuvo el valor de salinidad de todos los equipos cuyos efluentes se dirigirán hacia el tanque receptor, por lo que solo se evalúan los efluentes de aquellos equipos cuyos efluentes sí fueron analizados. No se obtendrá un valor real de la salinidad final del tanque, aunque sí puede ser tomado como una aproximación de las condiciones finales.

Primero se calcula el caudal promedio a la salida de los equipos en litros/segundo. Para la bomba comodín de las calderas 5 y 6:

$$\mathrm{q} = 11.10\ \frac{\mathrm{gal}}{\mathrm{min}}\left(\frac{3.78541\ \mathrm{L}}{1\mathrm{gal}}\right)\left(\frac{1\ \mathrm{min}}{60\ \mathrm{s}}\right) = 0.700\ \mathrm{L/s}$$

Para este equipo se obtuvieron dos datos de salinidad para el punto de enfriamiento. Se determina el flujo másico en términos de las sales iónicas al multiplicar el caudal con la salinidad máxima registrada.

$$\text{Flujo másico de sales} = \left(0.700\frac{\text{L}}{\text{s}}\right)\left(\frac{177\text{mgCaCO}_3}{\text{L}}\right) = 123.98\ \frac{\text{mg sales}}{\text{s}}$$

Se obtiene la sumatoria de todos los flujos másicos de sales para los distintos equipos analizados por el mismo procedimiento. Se obtiene la salinidad final en el tanque receptor como la división del flujo másico total de sales y la suma de los efluentes de los equipos analizados.

$$\text{Salinidad final} = \frac{\text{flujo másico total de sales}}{\text{Caudal total de los efluentes}} = \frac{1336.59\,\frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{s}}}{6.744\frac{\text{L}}{\text{s}}} = 198.18\frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{L}}$$

Cálculo 11. Determinación de los sólidos suspendidos totales en el tanque receptor tras la mezcla de los efluentes de los equipos analizados.

Es importante resaltar que no se obtuvo el valor de sólidos suspendidos totales de todos los equipos cuyos efluentes se dirigirán hacia el tanque receptor, por lo que solo se evalúan los efluentes de aquellos equipos cuyos efluentes sí fueron analizados. No se obtendrá un valor real de los sólidos suspendidos totales en el tanque, aunque sí puede ser tomado como una aproximación de las condiciones finales.

Primero se calcula el caudal promedio a la salida de los equipos en litros/segundo. Para las bombas hidráulicas 3 y 4 de movimientos de las mesas de bagazo:

$$\text{q} = 11.65\ \frac{\text{gal}}{\text{min}}\left(\frac{3.78541\ \text{L}}{1\text{gal}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right) = 0.735\ \text{L/s}$$

Para este equipo se obtuvo solo un dato de sólidos suspendidos totales para el punto de enfriamiento. Se determina el flujo másico en términos de los sólidos suspendidos totales al multiplicar el caudal con el valor de los sólidos suspendidos totales registrado.

$$\text{Flujo sólidos suspendidos totales} = \left(0.735\frac{\text{L}}{\text{s}}\right)\left(\frac{0.0015\ \text{g sólidos}}{\text{L}}\right)$$
$$= 0.001\ \frac{\text{g sólidos suspendidos totales}}{\text{s}}$$

Se obtiene la sumatoria de todos los flujos másicos de sólidos suspendidos totales para los distintos equipos analizados por el mismo procedimiento. Se obtiene los sólidos suspendidos totales en el tanque receptor como la división del flujo másico total de sólidos suspendidos y la suma de los efluentes de los equipos analizados.

$$\text{Sólidos suspendidos totales} = \frac{\text{flujo másico de sólidos suspendidos totales}}{\text{Caudal total de los efluentes}} = \frac{0.066\ \frac{\text{g sólidos}}{\text{s}}}{7.301\ \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$= 0.0091 \frac{\text{g sólidos suspendidos totales}}{\text{L}} = 0.0126\ \frac{\text{kg sólidos suspendidos totales}}{\text{m}^3}$$

d. Cálculos para el tanque receptor de agua

Cálculo 12. Determinación del diámetro y altura del tanque.

Se determinó por la suma del caudal promedio máximo de los efluentes de los equipos el flujo de agua que recibiría el tanque de agua receptor para las condiciones máximas; este flujo puede variar, y por lo general será menor que el usado, pero se considera el máximo como medida preventiva. Este caudal máximo es el que desarrollará la bomba para llevar el agua hacia la torre de enfriamiento del bloque 1. Sin embargo, considerando los valores promedio de caudal como entrada hacia el tanque, se obtiene una diferencia entre el valor máximo y promedio:

$$\text{Caudal máximo} - \text{caudal promedio} = 0.02227 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 0.01292 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.009346 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.5607 \frac{\text{m}^3}{\text{minuto}}$$

Considerando que:

$$\text{Altura del tanque} = 2.0\ \text{m}$$

$$\text{Diámetro del tanque} = 1.0\ \text{m}$$

El volumen y área superficial del tanque será de:

$$V_{\text{tanque}} = \pi\, r^2\, h = \pi \left(\frac{1.0\ \text{m}}{2}\right)^2 (2.0\ \text{m}) = 1.57\ \text{m}^3 = 414.96\ \text{galones}$$

$$\text{Área superficial del tanque} = 2\,\pi\, r\, h + 2\,\pi\, r^2 = 2\,\pi \left(\frac{1.0\ \text{m}}{2}\right)(2.0\ \text{m}) + 2\,\pi \left(\frac{1.0\ \text{m}}{2}\right)^2 = 7.85\ \text{m}^2$$

En teoría, si el caudal máximo entra hacia el tanque, la bomba se mantendrá operando de forma constante, pero si entra un caudal menor, digamos el promedio, entonces el tanque se vaciará antes (con la bomba operando) y tendrá un tiempo de llenado en el cual la bomba estará apagada. Estos tiempos están regulados por la posición de los interruptores de nivel en comunicación con la bomba. Considerando las dimensiones del tanque, se obtiene:

$$\text{Tiempo en vaciarse el tanque} = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{Diferencia de caudal entre valor máximo y promedio}}$$

$$= \frac{1.57\ \text{m}^3}{0.5607\ \frac{\text{m}^3}{\text{minuto}}} = 2.80\ \text{minutos}$$

$$\text{Tiempo en llenarse el tanque} = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{Caudal promedio}} = \frac{1.57\ \text{m}^3}{0.01292\frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 121.56\ \text{s} = 2.03\ \text{minutos}$$

Cálculo 13. Determinación de la cantidad de lámina a emplear para el tanque receptor de agua.

Se utilizarán láminas de hierro negro de un tamaño estándar de 8x4 pies (tamaño estándar) y un grosor de 5/16 de pulgadas para el cuerpo, base y techo del tanque, esto con base en recomendaciones del manual de la (American Water Works Association, 2013). Entonces, se determina el área superficial de cada lámina en términos de metros cuadrados:

$$\text{Área}_{\text{lámina}} = \text{Largo} \cdot \text{Ancho} = (2.44\ \text{m})(1.22\ \text{m}) = 2.97\frac{\text{m}^2}{\text{lámina}}$$

Conociendo el área superficial del tanque de forma cilíndrica, se determina el número de láminas como sigue:

$$\text{Cantidad de láminas} = \frac{\text{Área}_{\text{cilindro}}}{\text{Área}_{\text{lámina}}} = \frac{7.85\ \text{m}^2}{2.97\frac{\text{m}^2}{\text{lámina}}} = 2.64\ \text{láminas} \approx 3\ \text{láminas}$$

Cálculo 14. Determinación de la cantidad de anticorrosivo, pintura y recubrimiento a emplear para el tanque receptor de agua.

Se considera como ejemplo el anticorrosivo, puesto que los cálculos son iguales para el resto de los recubrimientos del tanque. Se debe denotar que el Anticorrosivo y el esmalte de poliuretano son para el recubrimiento externo del tanque, mientras que la mezcla de los dos productos MacroPoxy son para el recubrimiento interno.

El fabricante del anticorrosivo indica un rango de rendimiento del producto en términos de m^2/galón de producto. Conociendo el área superficial externa del tanque y tomando un valor promedio del rango de rendimiento dado por el fabricante, se obtiene la cantidad de producto a emplear.

$$\text{Rendimiento del anticorrosivo} = 25 - 38\frac{\text{m}^2}{\text{galón}}$$

$$\text{Cantidad de anticorrosivo} = \frac{\text{Área}_{\text{tanque}}}{\text{rendimiento del producto}} = \frac{7.85\ \text{m}^2}{31.5\frac{\text{m}^2}{\text{galón}}} = 0.25\ \text{galones}$$

$$\approx 1\ \text{galón de anticcorosivo}$$

e. Cálculos del sistema de bombeo hacia la tubería de retorno a la torre de enfriamiento del bloque 1

Cálculo 15. Conversión de presión a términos de columna de agua.

Se conoce que la presión de una columna de fluido está descrita por:

$$P = \rho\ g\ h \quad \text{[Ecuación 30]}$$

Donde:

P es la presión del fluido

ρ es la densidad del fluido

g es la fuerza de gravedad

h es la altura de la columna de fluido

Entonces, si se conoce que la presión en el punto 2 es 10 psi, que equivale a 68,947.57 Pascales, se puede expresar en términos de altura de agua como:

$$h = \frac{P}{\rho\ g} = \frac{68{,}947.57\ \text{Pa}}{\left(994.07\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(9.81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 7.07\ \text{m de}\ H_2O$$

Cálculo 16. Velocidad media del fluido a través de la tubería.

Se desea bombear un caudal de 352.94 galones por minuto a través de una tubería, pero siguiendo la recomendación del Cuadro 6 en el apartado del marco teórico, la velocidad del fluido debe estar en un rango de 1.2 a 3 m/s. Para determinar la velocidad del fluido se emplea la $\overline{V} = \frac{\dot{m}}{\rho\ S} = \frac{q}{S}$ [Ecuación 4] en el apartado del marco teórico.

$$q\ = 352.94\frac{\text{gal}}{\text{min}}\left(\frac{3.78541\ \text{L}}{1\ \text{gal}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}^3}{1000\ \text{L}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right) = 0.0222\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$S = \frac{\pi}{4}\ D^2 = \left(\frac{\pi}{4}\right)\left[5\ \text{pulgadas}\left(\frac{0.0254\ \text{m}}{1\ \text{pulgadas}}\right)\right]^2 = 0.01291\ \text{m}^2$$

$$\overline{V} = \frac{q}{S} = \frac{0.0222\frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.01291\ \text{m}^2} = 1.73\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo 17. Determinación del número de Reynolds.

Empleando la ecuación 1 en el apartado del marco teórico, se obtiene:

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{D}\,\overline{\mathrm{V}}\,\rho}{\mu} = \frac{(0.1282\ \mathrm{m})\left(1.73\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\left(994.18\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right)}{0.000798\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}}} = 2.76\cdot 10^5$$

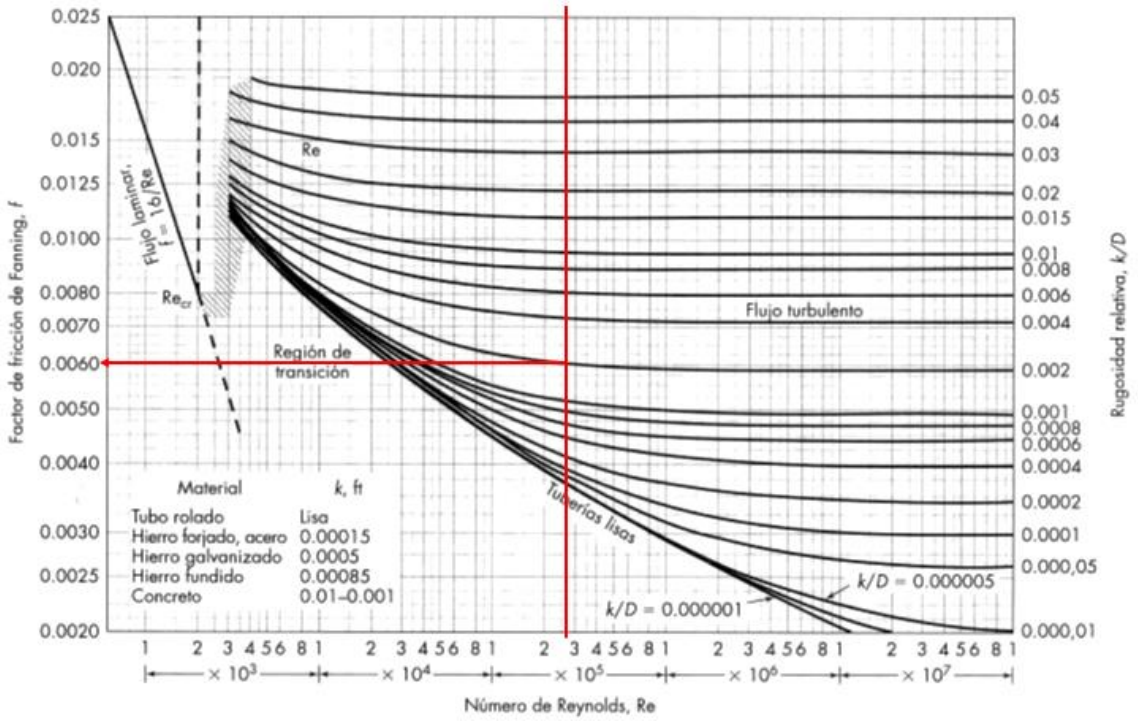
Aquí se evidencia que el flujo es turbulento.

Cálculo 18. Determinación del factor de fricción de Fanning.

Conociendo el valor del número de Reynolds, se procede a determinar la rugosidad relativa del material de la tubería, en este caso, hierro negro. En (Green & Perry, 2008) se establece que el valor de la rugosidad absoluta para el hierro negro es de 0.259 mm, equivalente a 0.000259 m. Entonces, la rugosidad relativa es:

$$\text{rugosidad relativa} = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{D}} = \frac{0.000259\ \mathrm{m}}{0.1282\ \mathrm{m}} = 0.002020$$

Con los valores de Reynolds y rugosidad relativa se puede usar la gráfica del factor de fricción de Fanning presentada como la Figura 6 en el apartado de marco teórico.



Se determina gráficamente que el valor del factor de fricción de Fanning para el número de Reynolds y rugosidad relativa corresponde a:

$$f = 0.0060$$

Cálculo 19. Determinación de las pérdidas por fricción por contracción brusca.

Existe una contracción brusca a la entrada de la tubería desde el tanque hacia la succión de la bomba centrífuga. Primero se determina el coeficiente de pérdida por contracción como se muestra en la ecuación 11 en el apartado del marco teórico.

$$K_c = 0.4\left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) = 0.4\left[1 - \frac{\left(\frac{\pi}{4}\,(0.1541\ \mathrm{m})^2\right)}{\left(\frac{\pi}{4}\,(1.0\ \mathrm{m})^2\right)}\right] = 0.39$$

Ahora se determina las pérdidas por fricción debido a la contracción mediante la ecuación 10 en el apartado del marco teórico:

$$h_{fc} = K_c\frac{\overline{V_b}^2}{2\,g_c} = (0.39)\frac{\left(1.19\frac{m}{s}\right)^2}{2\,(1)} = 0.28\frac{m^2}{s^2}$$

Este cálculo se repite también para la contracción debido al cambio de diámetro en la tubería de succión.

Cálculo 20. Determinación de las pérdidas por fricción por expansión brusca.

Existe una expansión brusca a la entrada de la tubería de retorno de agua caliente hacia la torre de enfriamiento del bloque 1. Primero se determina el coeficiente de pérdida por expansión como se muestra en la ecuación 9 en el apartado del marco teórico.

$$K_e = \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right)^2 = \left[1 - \frac{\left(\frac{\pi}{4}\,(0.1282\ \mathrm{m})^2\right)}{\left(\frac{\pi}{4}\,(1.0\ \mathrm{m})^2\right)}\right]^2 = 0.97$$

Ahora se determina las pérdidas por fricción debido a la contracción mediante la ecuación 8 en el apartado del marco teórico; se asume que la velocidad a la descarga de la bomba se mantiene durante el trayecto:

$$h_{fe} = K_e\frac{\overline{V_a}^2}{2\,g_c} = (0.97)\frac{\left(1.73\frac{m}{s}\right)^2}{2\,(1)} = 1.44\frac{m^2}{s^2}$$

Este cálculo se repite también para la expansión debido al cambio de diámetro en la tubería de descarga.

Cálculo 21. Determinación de las pérdidas por fricción debido a válvulas y accesorios.

Para el circuito de tubería y accesorios propuesto se tiene el siguiente conteo:

Cuadro 259. Accesorios del circuito de bombeo y sus coeficientes de pérdida de fricción

A continuación se presenta el conteo de accesorios requeridos para el circuito de bombeo recomendado y sus respectivos coeficientes de pérdida de fricción (K_f).

Tubería y accesorios requeridos	Cantidad	Kf
Tubería	78.40 m	
Válvulas de compuertas abierta	1	0.17
Codos de 90° estándar de transición larga	18	0.75
Codos de 45° estándar de transición larga	2	0.35
Accesorio T	1	1
Reducción de 6 a 4 pulgadas	1	0.8
Expansión de 3 a 5 pulgadas	1	0.8
Uniones universales	16	0.04
Válvulas de retención tipo bisagra	1	7

Observaciones:

[1] Los coeficientes de pérdida de fricción se obtuvieron de (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

Con estos valores, se determina el factor de pérdida por fricción para los accesorios al multiplicar la cantidad de accesorios por su respectivo coeficiente de pérdida de fricción y sumar los valores totales para obtener un coeficiente total.

$$K_f = (1)(0.17) + (18)(0.75) + (2)(0.35) + (1)(1) + (16)(0.04) + (1)(7) = 24.6$$

Por último, se obtiene las pérdidas por fricción debido a las válvulas y accesorios a partir de la $h_{ff} = K_f \frac{\overline{V_a}^2}{2\, g_c}$ [Ecuación 12 en el apartado del marco teórico:

$$h_{ff} = K_f \frac{\overline{V_a}^{\,2}}{2\, g_c} = (24.6) \frac{\left(1.73 \frac{m}{s}\right)^2}{2\,(1)} = 36.60 \frac{m^2}{s^2}$$

Cálculo 22. Determinación de las pérdidas por fricción debido a la fricción de superficie en la tubería.

A partir del tramo de tubería necesario y la velocidad del fluido a través de ella, se obtienen las pérdidas por fricción de superficie a partir de la ecuación 7 en el apartado del marco teórico y para la sección de succión y descarga de la bomba.

Para la succión:

$$h_{fs,succión} = 4f\frac{\Delta L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2\,g_c} = 4(0.0060)\left(\frac{5.90\text{ m}}{0.1541\text{ m}}\right)\frac{\left(1.19\frac{m}{s}\right)^2}{2\,(1)} = 0.66\frac{m^2}{s^2}$$

Para descarga:

$$h_{fs,descarga} = 4f\frac{\Delta L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2\,g_c} = 4(0.0060)\left(\frac{72.50\text{ m}}{0.1282\text{ m}}\right)\frac{\left(1.73\frac{m}{s}\right)^2}{2\,(1)} = 20.20\frac{m^2}{s^2}$$

Pérdidas totales por fricción:

$$h_{fs,total} = 0.66\frac{m^2}{s^2} + 20.20\frac{m^2}{s^2} = 20.86\frac{m^2}{s^2}$$

Cálculo 23. Determinación de las pérdidas por fricción de forma y superficie totales en la ecuación de Bernoulli.

Las pérdidas por fricción de forma y superficie totales se pueden determinar por la ecuación 13 en el apartado del marco teórico. Como ya se obtuvieron las distintas pérdidas por separado, la operación consiste solo en sumar estas cantidades.

$$h_f = h_{fs} + h_{ff} + h_{fe} + h_{fc} = 64.33\frac{m^2}{s^2}$$

Cálculo 24. Determinación de la cabeza estática, dinámica y total de la bomba centrífuga en el circuito de bombeo.

La cabeza estática de la bomba lo constituye la suma de la diferencia de presión expresada en metros del fluido y la diferencia de altura entre los puntos de referencia tomados para el análisis. Importante notar que la presión en el punto A del análisis abarca la presión de la columna de fluido y la presión atmosférica, mientras que en el punto B corresponde a la presión de descarga final requerida.

Para obtener un dato más real del tamaño de la bomba que se requiere, se considera la diferencia de altura como la diferencia de altura entre el punto más bajo en la succión y el punto más alto en la descarga, obviando los puntos de referencia considerados, puesto que estos no indican la diferencia de altura neta a la cual se elevará el fluido.

$$\text{Cabeza estática} = (12.39 - 7.07)\text{m} + 7.60\text{ m} = 12.92\text{ m}$$

Donde 7.60 es la altura a la cual se elevará el fluido desde la toma en la tubería de succión.

La cabeza dinámica de la bomba lo constituye las pérdidas de fricción de forma y superficie totales dividido entre la fuerza de gravedad.

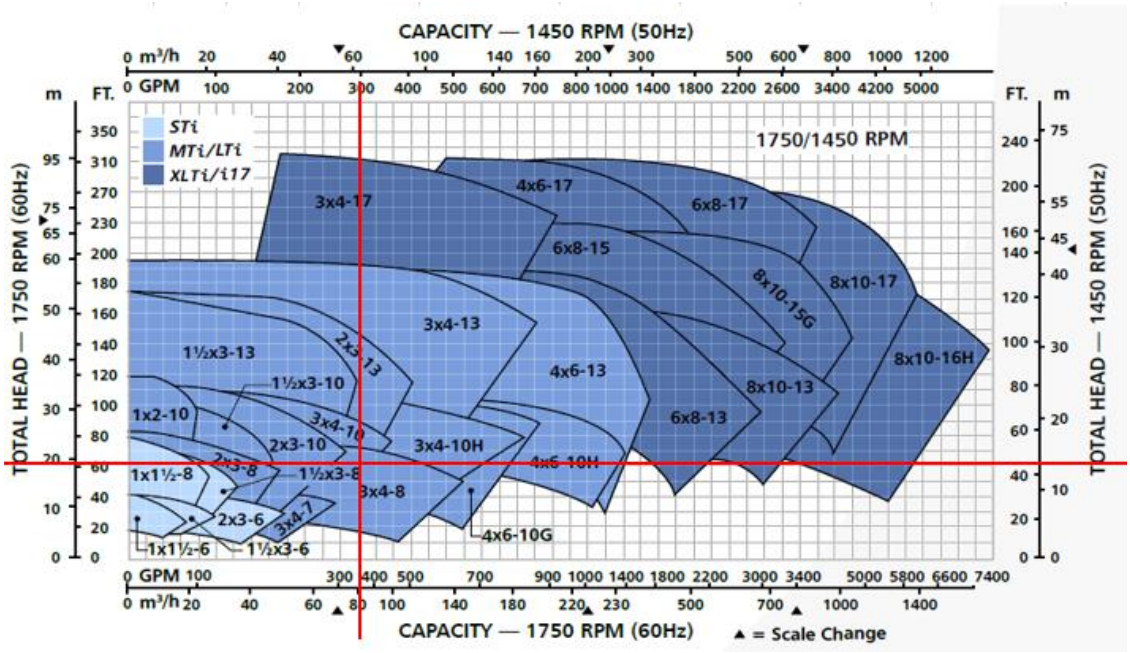
$$\text{Cabeza dinámica} = \frac{h_f}{g} = \frac{64.33 \frac{m^2}{s^2}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 6.56 \text{ m}$$

La cabeza total que desarrollar por la bomba es la suma de la cabeza estática y dinámica:

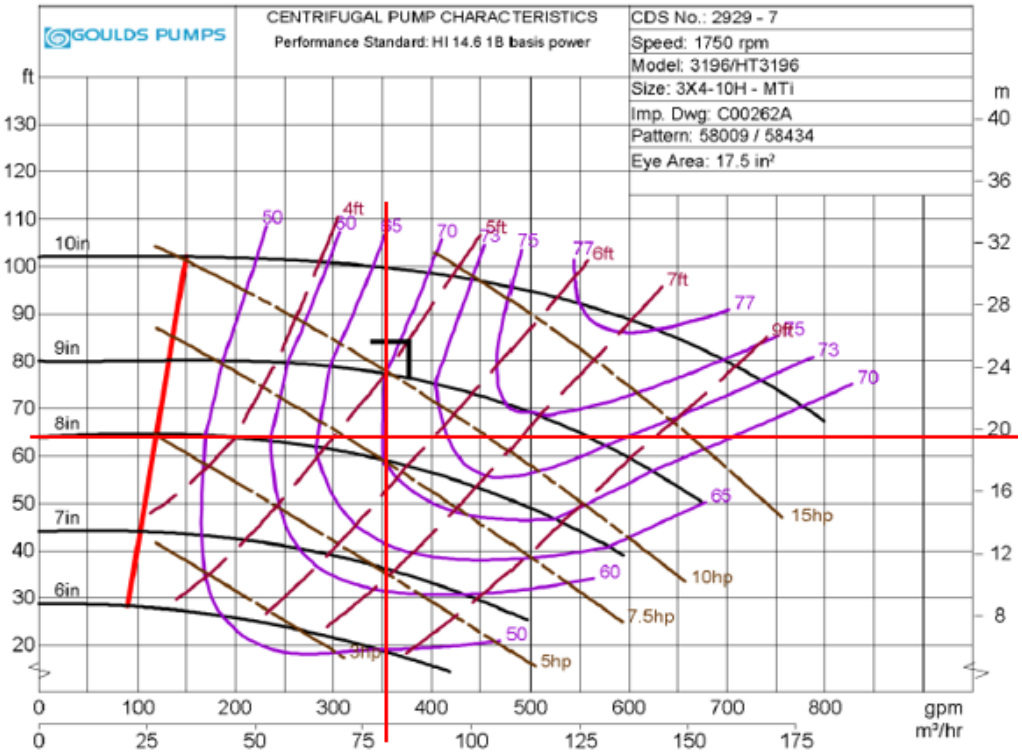
$$\text{Cabeza total} = \text{Cabeza estática} + \text{Cabeza dinámica} = 12.92 \text{ m} + 6.56 \text{ m} = 19.48 \text{ m}$$

Cálculo 25. Determinación de la bomba a solicitar al proveedor.

Se debe conocer la cabeza total de la bomba y el caudal a bombear. Es importante mencionar que para la cabeza total se abarcó la diferencia de altura total existente, desde la succión de la bomba hasta el punto más alto alcanzado por la descarga. Entonces, con la gráfica de la familia de bombas, para una cabeza de 19.48 metros de agua y un caudal de 80.16 m^3/h, se procede a determinar los modelos que más se adecúan a lo que se requiere:



Se determina que el modelo debe ser 3x4-8. Al consultar con el fabricante, este indicó que por las condiciones de operación es más recomendable usar el modelo 3196 3x4-10H MTi. Al ver la curva característica para dicho modelo se confirma que la recomendación del fabricante sí cumple para nuestros requerimientos.



Se determina que la potencia a realizar es de 12.14 HP, como recomendación de 15 HP para tener disponibilidad antes un requerimiento mayor, a una eficiencia del 70%, un tamaño del impulsor de 10 pulgadas y un NPSH requerido de 5.2 pies. Los datos técnicos de la bomba los determina el fabricante dentro de las cotizaciones que se encuentran en el apartado de anexos.

Cálculo 26. Determinación de la cabeza neta de succión positiva (NSPH) para la succión de la bomba centrífuga.

El NPSH se calcula a partir de la $\text{NPSH} = \frac{g_c}{g}\left(\frac{p_a - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a$ [Ecuación 14 en el apartado del marco teórico. El valor de la presión de vapor del agua a la temperatura del tanque receptor se obtuvo mediante interpolación con datos proporcionados en (Green & Perry, 2008). El valor de la fricción en la línea de succión se obtuvo siguiendo el mismo procedimiento realizado para el Bernoulli considerando solo las pérdidas por contracción, accesorios y de superficie.

$$\text{NPSH} = \frac{g_c}{g}\left(\frac{p_a - p_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a = \frac{1}{9.81\,\frac{m}{s^2}}\left(\frac{101324.66\ \text{Pa} - 5568.45\ \text{Pa}}{994.07\,\frac{kg}{m^3}} - 2.79\,\frac{m^2}{s^2}\right) - 2.5\ \text{m} = 7.03\ \text{m}$$

Se tiene que cumplir que el NPSH calculado sea considerablemente mayor que el valor mínimo requerido por el fabricante.

$$\text{NPSH}_{\text{calculado}} > \text{NPSH}_{\text{requerido}}$$

$$7.03\ m > 1.58\ m$$

Se determina que sí se cumple el enunciado anterior, por lo que la bomba seleccionada sí es adecuada para el servicio propuesto.

2. Información de soporte para resultados obtenidos durante el proyecto.

Cuadro 260. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento analizados.

Datos de caudal y temperatura promedio obtenido para los distintos equipos de enfriamiento, Análisis realizado 10/03/2018.

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Bomba 1 caldera 6	Completa	1 y 2	29.0	0.001415 ± 0.000063	22.429 ± 0.992
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	1	29.0	0.000503 ± 0.000040	7.981 ± 0.637
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	2	27.5	0.000535 ± 0.000006	8.485 ± 0.088
Bomba comodín calderas 5 y 6	Abierta por operario	1	30.0	0.000786 ± 0.000025	12.464 ± 0.395
Bomba 2 caldera 5	Abierta por operario	1	31.0	0.000202 ± 0.000016	3.204 ± 0.256
Bomba 1 caldera 5	Abierta por operario	1	33.0	0.000176 ± 0.000010	2.782 ± 0.151
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	30.0	0.000297 ± 0.000037	4.712 ± 0.585
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	29.0	0.000309 ± 0.000005	4.897 ± 0.072
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	30.0	0.000128 ± 0.000007	2.031 ± 0.113
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	30.0	0.000371 ± 0.000006	5.883 ± 0.100
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	28.0	0.001574 ± 0.000065	24.952 ± 1.033
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	30.0	0.000191 ± 0.000009	3.035 ± 0.139
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	3	30.0	0.000522 ± 0.000018	8.273 ± 0.281
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	1	31.0	0.000020 ± 0.000001	0.322 ± 0.021
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta	2	28.0	0.000264 ± 0.000007	4.192 ± 0.118

(Continuación Cuadro 260)

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	3	31.0	0.000070 ± 0.000004	1.106 ± 0.065
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	4	28.0	0.000333 ± 0.000004	5.284 ± 0.056
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	5	32.0	0.000124 ± 0.000003	1.971 ± 0.040
Bomba 1 caldera 4 y 7 (1000 gal/min)	Completa	1	30.0	0.000025 ± 0.000001	0.402 ± 0.009
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	Completa	2	28.0	0.000249 ± 0.000013	3.942 ± 0.201
(Turbo) bomba 1 Caldera 7	Abierta por operario	1	27.0	0.000238 ± 0.000012	3.778 ± 0.191
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	2	28.0	0.000209 ± 0.000010	3.308 ± 0.157
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	3	27.0	0.000371 ± 0.000068	5.876 ± 1.084
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	4	27.0	0.000705 ± 0.000035	11.178 ± 0.550
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Completa	5	27.0	0.000785 ± 0.000022	12.441 ± 0.343
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	1	30.0	0.000216 ± 0.000007	3.420 ± 0.119
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	3	29.0	0.000223 ± 0.000006	3.535 ± 0.100
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	4	30.0	0.000206 ± 0.000002	3.271 ± 0.026
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	5	30.0	0.000139 ± 0.000006	2.204 ± 0.090
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	1	28.0	0.000097 ± 0.000005	1.536 ± 0.084
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	2	30.0	0.000189 ± 0.000009	3.000 ± 0.148
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	3	27.0	0.000497 ± 0.000033	7.878 ± 0.523

(Continuación Cuadro 260)

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	4	27.0	0.000238 ± 0.000009	3.778 ± 0.150
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	5	29.0	0.000925 ± 0.000069	14.665 ± 1.101
Tomamuestra vapor caldera 1	Abierta por operario	1	27.0	0.000061 ± 0.000022	0.972 ± 0.351
Tomamuestra domo caldera 1	Abierta por operario	1	27.0	0.000116 ± 0.000003	1.846 ± 0.054
Tomamuestra domo caldera 4	Completa	1	27.0	0.000331 ± 0.000012	5.253 ± 0.197
Tomamuestra vapor caldera 5	Abierta por operario	1	26.0	0.000276 ± 0.000005	4.377 ± 0.078
Tomamuestra domo caldera 5	Completa	1	29.0	0.000865 ± 0.000016	13.705 ± 0.246
Tomamuestra vapor caldera 6	Abierta por operario	1	28.0	0.000403 ± 0.000011	6.394 ± 0.171
Tomamuestra domo caldera 6	Completa	1	30.0	0.000416 ± 0.000017	6.592 ± 0.266
Tomamuestra vapor caldera 7	Completa	1	30.0	0.000144 ± 0.000001	2.276 ± 0.012
Tomamuestra domo caldera 7	Abierta por operario	1	28.0	0.000179 ± 0.000006	2.837 ± 0.101
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	Abierta por operario	1	28.0	0.000331 ± 0.000005	5.247 ± 0.087
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Abierta por operario	1	30.0	0.000266 ± 0.000013	4.211 ± 0.213
Bomba hidráulica 4 de movimiento de mesas de bagazo	Abierta por operario	1	28.0	0.000997 ± 0.000020	15.797 ± 0.321

(Continuación Cuadro 260)

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Bomba hidráulica 3 de movimiento de mesas de bagazo	Abierta por operario	1	33.0	0.000574 ± 0.000047	9.092 ± 0.740
Ventilador inducido caldera 1	Completa	1	30.0	0.001752 ± 0.000092	27.771 ± 1.461
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Abierta por operario	1	31.0	0.000559 ± 0.000037	8.859 ± 0.585
Ventilador inducido 1 Caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	33.0	0.000813 ± 0.000017	12.880 ± 0.273
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	Abierta por operario	1	28.0	0.001410 ± 0.000108	22.350 ± 1.717
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	33.0	0.000611 ± 0.000013	9.686 ± 0.199
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	1 vuelta	1	38.0	0.006121 ± 0.000524	97.019 ± 8.299
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	1 y 1/2 vueltas	1	36.0	0.000899 ± 0.000012	14.247 ± 0.191
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Abierta por operario	1	29.0	0.000330 ± 0.000006	5.229 ± 0.098
Turbogenerador TRONA	Abierta por operario	Unidad hidráulica	33.0	0.000241 ± 0.000005	3.827 ± 0.075
Turbogenerador TRONA	Abierta por operario	Eyector	43.0	0.001042 ± 0.000032	16.513 ± 0.507
Turbogenerador condensing	Abierta por operario	Unidad hidráulica	33.0	0.000153 ± 0.000009	2.420 ± 0.142

Cuadro 261. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos

Datos promedio de caudal y temperatura, Análisis con fecha 15/03/2018 y 23/03/2018.

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s) Desv. Estándar ($m^{3/}s$)	Caudal promedio (gal/min)
Bomba 1 caldera 6	Abierta por operario	1	27.5	0.000716 ± 0.000025	11.346 ± 0.402
Bomba 1 caldera 6	Abierta por operario	2	28.0	0.000557 ± 0.000047	8.826 ± 0.752
Bomba 2 caldera 5	Abierta por operario	1	28.0	0.000173 ± 0.0000066	2.750 ± 0.105
Bomba 1 caldera 5	Abierta por operario	1	31.0	0.000196 ± 0.000005	3.108 ± 0.081
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	28.0	0.000355 ± 0.000008	5.631 ± 0.119
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	27.0	0.000212 ± 0.000006	3.354 ± 0.094
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	28.0	0.000128 ± 0.000002	2.030 ± 0.039
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	27.0	0.000391 ± 0.000008	6.200 ± 0.134
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	27.0	0.000220 ± 0.000017	3.494 ± 0.277
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	1	29.0	0.000024 ± 0.0000004	0.378 ± 0.007
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	2	27.5	0.000286 ± 0.000006	4.534 ± 0.091
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	3	29.0	0.000074 ± 0.000001	1.172 ± 0.011

(Continuación Cuadro 261)

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	5	29.0	0.000133 ± 0.000001	2.112 ± 0.015
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	1	30.0	0.001451 ± 0.000039	23.002 ± 0.625
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	2	28.0	0.000954 ± 0.000069	15.119 ± 1.089
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	1	28.0	0.000252 ± 0.000003	3.991 ± 0.044
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	3	28.0	0.000199 ± 0.000005	3.151 ± 0.079
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	4	28.5	0.000231 ± 0.000002	3.661 ± 0.038
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	5	28.0	0.000152 ± 0.000003	2.410 ± 0.055
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	1	29.0	0.001835 ± 0.000074	29.082 ± 1.178
Tomamuestra vapor caldera 1	Completa	1	28.0	0.000159 ± 0.000001	2.517 ± 0.016
Tomamuestra domo caldera 1	Completa	1	28.0	0.000173 ± 0.000004	2.743 ± 0.068
Tomamuestra domo caldera 4	Completa	1	27.0	0.000781 ± 0.000026	12.380 ± 0.417
Tomamuestra vapor caldera 5	Completa	1	26.0	0.000282 ± 0.000007	4.474 ± 0.114
Tomamuestra domo caldera 5	Completa	1	31.0	0.000503 ± 0.000016	7.979 ± 0.261
Tomamuestra vapor caldera 6	Completa	1	28.0	0.000182 ± 0.000010	2.878 ± 0.161

Continuación Cuadro 261

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Tomamuestra domo caldera 6	Completa	1	28.0	0.000424 ± 0.000022	6.715 ± 0.343
Tomamuestra vapor caldera 7	Completa	1	32.0	0.000162 ± 0.000002	2.568 ± 0.026
Tomamuestra domo caldera 7	Completa	1	29.0	0.000175 ± 0.000003	2.773 ± 0.041
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	Completa	1	27.5	0.000212 ± 0.000009	3.353 ± 0.137
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Abierta por operario	1	27.0	0.000284 ± 0.000010	4.505 ± 0.151
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Abierta por operario	1	28.5	0.000683 ± 0.000018	10.833 ± 0.282
Ventilador inducido caldera 1	Completa	1	31.0	0.001593 ± 0.000044	25.247 ± 0.700
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Abierta por operario	1	27.0	0.000703 ± 0.000013	11.137 ± 0.212
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	29.0	0.000978 ± 0.000066	15.501 ± 1.048
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	Abierta por operario	1	27.0	0.001437 ± 0.000035	22.778 ± 0.551

Continuación Cuadro 261

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	27.0	0.000608 ± 0.000033	9.640 ± 0.521
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	1 vuelta	1	31.0	0.003948 ± 0.000150	62.584 ± 2.373
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	1 vuelta	1	34.0	0.002770 ± 0.000147	43.907 ± 2.335
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Abierta por operario	1	27.0	0.000349 ± 0.000002	5.525 ± 0.039
Turbogenerador TRONA	1/2 abierta del total	Unidad hidráulica	33.0	0.000339 ± 0.000006	5.370 ± 0.102
Turbogenerador TRONA	Completa	Eyector	40.0	0.001016 ± 0.000034	16.099 ± 0.543
Turbogenerador condensing	1/4 abierta del total	Unidad hidráulica	28.0	0.000190 ± 0.000007	3.012 ± 0.116
Turbogenerador condensing	Completa	Unidad hidráulica	27.5	0.000273 ± 0.000010	4.330 ± 0.155

Cuadro 262. Datos obtenidos para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos

Datos de caudal y temperatura promedio, analizados en fecha 27/03/2018.

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Bomba 1 caldera 6	Abierta por operario	1	32.0	0.000440 ± 0.000004	6.978 ± 0.059
Bomba 1 caldera 6	Abierta por operario	2	31.0	0.000516 ± 0.000011	8.185 ± 0.173
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	1	30.0	0.000424 ± 0.000011	6.724 ± 0.178
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	2	30.0	0.000448 ± 0.000021	7.100 ± 0.330
Bomba comodín calderas 5 y 6	Abierta por operario	1	31.0	0.000615 ± 0.000020	9.741 ± 0.321
Bomba 2 caldera 5	Abierta por operario	1	31.0	0.000183 ± 0.000008	2.897 ± 0.128
Bomba 1 caldera 5	Abierta por operario	1	31.0	0.000438 ± 0.000004	6.943 ± 0.070
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	31.0	0.000310 ± 0.000011	4.920 ± 0.167
Bomba 1 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	30.0	0.000260 ± 0.000007	4.125 ± 0.113
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	30.0	0.000086 ± 0.000001	1.358 ± 0.010
Bomba 2 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	30.0	0.000306 ± 0.000010	4.847 ± 0.153
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	30.0	0.000766 ± 0.000012	12.141 ± 0.187
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	30.0	0.000131 ± 0.000001	2.069 ± 0.017
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	3	30.0	0.000370 ± 0.000004	5.859 ± 0.068

Continuación Cuadro 262

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	1	32.0	0.000026 ± 0.000001	0.410 ± 0.008
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	2	33.0	0.000299 ± 0.000001	4.742 ± 0.010
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	3	38.0	0.000073 ± 0.000001	1.152 ± 0.015
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	4	30.5	0.000348 ± 0.000007	5.515 ± 0.111
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Abierta por operario	5	32.0	0.000142 ± 0.000006	2.257 ± 0.090
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	1	30.0	0.001535 ± 0.000044	24.331 ± 0.694
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Abierta por operario	2	30.0	0.000604 ± 0.000005	9.578 ± 0.078
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	1	32.0	0.000236 ± 0.000016	3.746 ± 0.261
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	3	25.0	0.000217 ± 0.000002	3.443 ± 0.036
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	4	31.0	0.000245 ± 0.000011	3.882 ± 0.177
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Abierta por operario	5	30.0	0.000161 ± 0.000006	2.556 ± 0.091
Bomba 2 calderas 4 y 7	Abierta por operario	1	30.0	0.001063 ± 0.000069	16.842 ± 1.092
Tomamuestra vapor caldera 1	Completa	1	30.0	0.000162 ± 0.000001	2.571 ± 0.021
Tomamuestra domo caldera 1	Completa	1	32.0	0.000113 ± 0.000002	1.795 ± 0.024

Continuación Cuadro 262

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Tomamuestra domo caldera 4	Completa	1	24.0	0.000779 ± 0.000037	12.355 ± 0.588
Tomamuestra vapor caldera 5	Completa	1	28.0	0.000284 ± 0.000008	4.506 ± 0.130
Tomamuestra domo caldera 5	Completa	1	31.0	0.000469 ± 0.000010	7.430 ± 0.157
Tomamuestra vapor caldera 6	Completa	1	30.0	0.000418 ± 0.000019	6.627 ± 0.308
Tomamuestra domo caldera 6	Completa	1	33.0	0.000420 ± 0.000013	6.663 ± 0.209
Tomamuestra vapor caldera 7	Completa	1	31.0	0.000192 ± 0.000017	3.051 ± 0.266
Tomamuestra domo caldera 7	Completa	1	30.0	0.000185 ± 0.000009	2.931 ± 0.141
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	Completa	1	30.0	0.000442 ± 0.000004	7.004 ± 0.056
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Abierta por operario	1	30.0	0.000075 ± 0.000024	1.193 ± 0.374
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Abierta por operario	1	31.5	0.000686 ± 0.000018	10.867 ± 0.292
Ventilador inducido caldera 1	Completa	1	35.0	0.001807 ± 0.000055	28.644 ± 0.865

Cont. Cuadro 262

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	33.0	0.000774 ± 0.000032	12.273 ± 0.514
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	Abierta por operario	1	31.0	0.001333 ± 0.000062	21.135 ± 0.979
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Abierta por operario	1	33.0	0.000534 ± 0.000025	8.467 ± 0.393
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	1 vuelta	1	38.0	0.002680 ± 0.000069	42.476 ± 1.088
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	1/2 vuelta	1	38.0	0.000125 ± 0.000002	1.988 ± 0.031
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	2 vueltas	1	38.0	0.006960 ± 0.000273	110.313 ± 4.321
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	1 y 1/2 vuelta	1	36.0	0.002107 ± 0.000038	33.392 ± 0.604
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	1/2 vuelta	1	36.0	0.000327 ± 0.000024	5.180 ± 0.375
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	2 vueltas	1	36.0	0.003911 ± 0.000077	61.995 ± 1.218

(Continuación cuadro 262)

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Temperatura (±0.5°C)	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Turbogenerador TRONA	Completa	Eyector	42.0	0.001104 ± 0.000052	17.506 ± 0.828
Turbogenerador TRONA	3/4 abierta del total	Unidad Hidráulica	31.0	0.000389 ± 0.000020	6.168 ± 0.316
Turbogenerador TRONA	Completa	Unidad Hidráulica	31.0	0.000442 ± 0.000014	7.007 ± 0.218
Turbogenerador Condensing	3/4 abierta del total	Unidad Hidráulica	31.0	0.000312 ± 0.000064	4.949 ± 1.007

Cuadro 263. Datos de caudal para los distintos equipos de enfriamiento en los equipos

Datos obtenidos, analizados en fecha 12/04/2018.

Equipo	Apertura de válvula	Punto de análisis	Caudal promedio (m^3/s)	Caudal promedio (gal/min)
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	1 vuelta	1	0.001437 ± 0.000015	22.778 ± 0.236
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	2 vueltas	1	0.005843 ± 0.000059	92.613 ± 0.935
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	1 vuelta	1	0.000587 ± 0.000016	9.309 ± 0.247
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	2 vueltas	1	0.003695 ± 0.000406	58.567 ± 6.431
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Abierta por operario	1	0.000437 ± 0.000004	6.932 ± 0.064
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	1	0.000589 ± 0.000011	9.333 ± 0.180
Bomba 2 caldera 6	Abierta por operario	2	0.000614 ± 0.000028	9.725 ± 0.439
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	1	0.000238 ± 0.000003	3.769 ± 0.051
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	2	0.000152 ± 0.000004	2.403 ± 0.069
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Abierta por operario	3	0.000438 ± 0.000091	6.936 ± 1.441

Cuadro 264. Caudales para los equipos analizados sin considerar propuesta de enfriamiento

Datos de caudal obtenidos para los equipos analizados sin considerar la propuesta de enfriamiento en serie y para el período de zafra 2017-2018.

Equipo	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Bomba 1 caldera 6	0.000957 ± 0.000012	0.001415 ± 0.000063	0.001115 ± 0.000223
Bomba 2 caldera 6	0.000872 ± 0.000024	0.001202 ± 0.000030	0.001038 ± 0.000165
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000615 ± 0.000020	0.000786 ± 0.000025	0.000700 ± 0.000121
Bomba 2 caldera 5	0.000173 ± 0.000007	0.000202 ± 0.000016	0.000186 ± 0.000015
Bomba 1 caldera 5	0.000176 ± 0.000010	0.000438 ± 0.000004	0.000270 ± 0.000146
Bomba 1 calderas 1 y 2	0.000567 ± 0.000010	0.000606 ± 0.000037	0.000581 ± 0.000022
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000392 ± 0.000010	0.000519 ± 0.000009	0.000470 ± 0.000069
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000827 ± 0.000091	0.002288 ± 0.000068	0.001460 ± 0.000749
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000812 ± 0.000010	0.000888 ± 0.000009	0.000856 ± 0.000039
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	0.000274 ± 0.000013	0.000274 ± 0.000013	0.000274 ± 0.000013
(Turbo) bomba 1 caldera 7	0.002139 ± 0.000044	0.002405 ± 0.000079	0.002284 ± 0.000134
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000784 ± 0.000011	0.000860 ± 0.000021	0.000826 ± 0.000038
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.001063 ± 0.000069	0.001947 ± 0.000078	0.001615 ± 0.000481
Tomamuestra vapor caldera 1	0.000061 ± 0.000022	0.000162 ± 0.000001	0.000127 ± 0.000057
Tomamuestra domo caldera 1	0.000113 ± 0.000002	0.000173 ± 0.000004	0.000134 ± 0.000034
Tomamuestra domo caldera 4	0.000331 ± 0.000012	0.000781 ± 0.000037	0.000631 ± 0.000259
Tomamuestra vapor caldera 5	0.000276 ± 0.000005	0.000469 ± 0.000008	0.000342 ± 0.000109
Tomamuestra domo caldera 5	0.000469 ± 0.000010	0.000865 ± 0.000016	0.000612 ± 0.000219
Tomamuestra vapor caldera 6	0.000182 ± 0.000010	0.000420 ± 0.000019	0.000335 ± 0.000133
Tomamuestra domo caldera 6	0.000416 ± 0.000017	0.000424 ± 0.000022	0.000420 ± 0.000004
Tomamuestra vapor caldera 7	0.000144 ± 0.000001	0.000192 ± 0.000017	0.000166 ± 0.000025
Tomamuestra domo caldera 7	0.000175 ± 0.000003	0.000185 ± 0.000009	0.000180 ± 0.000005
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	0.000212 ± 0.000009	0.000442 ± 0.000004	0.000328 ± 0.000115
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000075 ± 0.000024	0.000284 ± 0.000010	0.000208 ± 0.000116
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000683 ± 0.000018	0.001570 ± 0.000051	0.000980 ± 0.000511
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	0.000342 ± 0.000000	0.000785 ± 0.000000	0.000490 ± 0.000000
Ventilador inducido caldera 1	0.001593 ± 0.000044	0.001807 ± 0.000055	0.001717 ± 0.000111
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	0.000559 ± 0.000037	0.000703 ± 0.000013	0.000615 ± 0.000077

(Continuación Cuadro 264)

Equipo	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	0.000774 ± 0.000032	0.000978 ± 0.000066	0.000855 ± 0.000108
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	0.001333 ± 0.000062	0.001437 ± 0.000035	0.001394 ± 0.000054
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	0.000534 ± 0.000025	0.000611 ± 0.000013	0.000584 ± 0.000044
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	0.000125 ± 0.000002	0.006401 ± 0.009087	0.003547 ± 0.001999
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	0.000327 ± 0.000024	0.003803 ± 0.005381	0.002438 ± 0.000469
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000330 ± 0.000006	0.000437 ± 0.000004	0.000367 ± 0.000048
Turbogenerador TRONA	0.000241 ± 0.000005	0.000442 ± 0.000014	0.000353 ± 0.000085
Turbogenerador TRONA	0.001016 ± 0.000005	0.001104 ± 0.000014	0.001054 ± 0.000046
Turbogenerador condensing	0.000153 ± 0.000009	0.000312 ± 0.000064	0.000232 ± 0.000073

Cuadro 265. Caudales para los equipos analizados bajo la propuesta de enfriamiento en serie.

Valores de caudal obtenidos bajo la propuesta de enfriamiento en serie y el período de zafra 2017-2018.

Equipo	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Bomba 1 caldera 6	0.000440 ± 0.000004	0.001415 ± 0.000063	0.000557 ± 0.000116
Bomba 2 caldera 6	0.000424 ± 0.000011	0.001202 ± 0.000030	0.000519 ± 0.000075
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000615 ± 0.000020	0.000786 ± 0.000025	0.000700 ± 0.000121
Bombas 1 y 2 caldera 5	0.000176 ± 0.000010	0.000438 ± 0.000004	0.000270 ± 0.000146
Bomba 1 calderas 1 y 2	0.000212 ± 0.000006	0.000606 ± 0.000037	0.000291 ± 0.000049
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000086 ± 0.000001	0.000519 ± 0.000009	0.000235 ± 0.000136
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000131 ± 0.000001	0.001574 ± 0.000068	0.000289 ± 0.000153
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000020 ± 0.000001	0.000888 ± 0.000010	0.000171 ± 0.000127
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	0.000025 ± 0.000001	0.000249 ± 0.000013	0.000137 ± 0.000158
(Turbo) bomba 1 caldera 7	0.000209 ± 0.000010	0.001535 ± 0.000044	0.000462 ± 0.000267
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000139 ± 0.000006	0.000860 ± 0.000011	0.000206 ± 0.000037
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000097 ± 0.000005	0.001947 ± 0.000078	0.000389 ± 0.000334
Tomamuestra vapor caldera 1	0.000061 ± 0.000022	0.000162 ± 0.000001	0.000127 ± 0.000057
Tomamuestra domo caldera 1	0.000113 ± 0.000002	0.000173 ± 0.000004	0.000134 ± 0.000034
Tomamuestra domo caldera 4	0.000331 ± 0.000012	0.000781 ± 0.000026	0.000631 ± 0.000259
Tomamuestra vapor caldera 5	0.000276 ± 0.000005	0.000469 ± 0.000010	0.000342 ± 0.000109
Tomamuestra domo caldera 5	0.000469 ± 0.000010	0.000865 ± 0.000016	0.000612 ± 0.000219
Tomamuestra vapor caldera 6	0.000182 ± 0.000010	0.000420 ± 0.000013	0.000335 ± 0.000133
Tomamuestra domo caldera 6	0.000416 ± 0.000017	0.000424 ± 0.000022	0.000420 ± 0.000004
Tomamuestra vapor caldera 7	0.000144 ± 0.000001	0.000192 ± 0.000017	0.000166 ± 0.000025
Tomamuestra domo caldera 7	0.000175 ± 0.000003	0.000185 ± 0.000009	0.000180 ± 0.000005
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	0.000212 ± 0.000009	0.000442 ± 0.000004	0.000328 ± 0.000115
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000075 ± 0.000024	0.000284 ± 0.000010	0.000208 ± 0.000116
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000574 ± 0.000047	0.000997 ± 0.000020	0.000735 ± 0.000182
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	0.000490	0.000490	0.000490
Ventilador inducido caldera 1	0.001593 ± 0.000044	0.001807 ± 0.000055	0.001717 ± 0.000111

(Continuación Cuadro 265)

Equipo	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Ventiladores inducidos caldera 5 lado bombas y espiga	0.000559 ± 0.000037	0.000703 ± 0.000013	0.000615 ± 0.000077
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	0.000125 ± 0.000002	0.006401 ± 0.009087	0.003547 ± 0.001999
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	0.000327 ± 0.000024	0.003803 ± 0.005381	0.002438 ± 0.000469
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000330 ± 0.000006	0.000437 ± 0.000004	0.000367 ± 0.000048
Unidades hidráulicas turbogeneradores TRONA y condensing	0.000153 ± 0.000009	0.000312 ± 0.000064	0.000232 ± 0.000073
Eyector de turbogenerador TRONA	0.001016 ± 0.000034	0.001104 ± 0.000052	0.001054 ± 0.000046

Cuadro 266. Caudales para los equipos bajo la propuesta de enfriamiento en serie.

Valores de caudal resumidos para los grupos de equipos bajo la propuesta de enfriamiento en serie y el período de zafra 2017-2018.

Grupo equipos	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Bombas calderas 5 y 6	0.001655 ± 0.000025	0.003842 ± 0.000074	0.002047 ± 0.000235
Bombas calderas 1 y 2	0.000428 ± 0.000006	0.002700 ± 0.000078	0.000815 ± 0.000211
Bombas calderas 4 y 7	0.000490 ± 0.000013	0.005478 ± 0.000092	0.001366 ± 0.000475
Tomamuestras de calderas y de aireador	0.002378 ± 0.000035	0.004113 ± 0.000045	0.003276 ± 0.000404
Bombas hidráulicas	0.001139 ± 0.000052	0.001771 ± 0.000022	0.001433 ± 0.000216
Ventilador inducido caldera 1	0.001593 ± 0.000044	0.001807 ± 0.000055	0.001717 ± 0.000111
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000559 ± 0.000037	0.000703 ± 0.000013	0.000615 ± 0.000077
Purgas de torres de enfriamiento	0.000452 ± 0.000024	0.010204 ± 0.010561	0.005985 ± 0.002053
Planta desmineralizadora	0.000330 ± 0.000006	0.000437 ± 0.000004	0.000367 ± 0.000048
Turbogeneradores TRONA y condensing	0.001168 ± 0.000035	0.001417 ± 0.000082	0.001286 ± 0.000086
Total	0.010192 ± 0.000100	0.032472 ± 0.010562	0.018907 ± 0.002186
Total, sin torres de enfriamiento	0.009740 ± 0.000097	0.022267 ± 0.000180	0.012922 ± 0.000751

Cuadro 267. Caudales en tuberías principales de recolección de efluentes de enfriamiento.

Análisis de caudal en las tuberías principales de recolección de los efluentes de enfriamiento de los equipos seleccionados para el período de zafra 2017-2018

Grupo de equipos	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Unificación bombas calderas 5 y 6	0.001655 ± 0.00003	0.003842 ± 0.00007	0.002047 ± 0.00024
Unificación (Turbo)bomba 2 caldera 4, bomba 1 de caldera 4 (450 gal/min) y tomamuestra de aireador	0.000371 ± 0.00001	0.002190 ± 0.00002	0.000706 ± 0.00018
Unificación bombas 1 y 2 calderas 4 y 7, y (turbo)bomba 1 caldera 7	0.000331 ± 0.00001	0.003731 ± 0.00009	0.000988 ± 0.00046
Unificación turbogenerador TRONA y unidades hidráulicas TRONA y condensing	0.001168 ± 0.00004	0.001417 ± 0.00008	0.001286 ± 0.00009
Unificación de turbogeneradores, tomamuestra de caldera 5 y 6, y ventiladores inducidos caldera 5	0.003070 ± 0.00006	0.004297 ± 0.00009	0.003611 ± 0.00030
Unificación planta de agua desmineralizada y bombas hidráulicas 3 y 4	0.000903 ± 0.00005	0.001434 ± 0.00002	0.001102 ± 0.00019

(Continuación Cuadro 267)

Grupo de equipos	Caudal mínimo (m^3/s)	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal promedio (m^3/s)
Unificación turbogeneradores, tomamuestra de caldera 5 y 6, ventiladores inducidos caldera 5, planta DM, bombas hidráulicas 3 y 4, y tomamuestra caldera 7	0.004781 ± 0.00007	0.006598 ± 0.00009	0.005549 ± 0.00036
Unificación turbogeneradores, tomamuestras de calderas 7, 4, 1, 5 y 6, ventiladores inducidos de caldera 5 y1, bombas hidráulicas 1, 2, 3, 4, y 5, planta DM, bombas calderas 1 y 2, y bombas 1 y calderas 4 y 7 y (Turbo) bomba 1 caldera 7	0.006372 ± 0.00009	0.011109 ± 0.00014	0.008102 ± 0.00066

Cuadro 268. Análisis de vel. en las tuberías de recolección de efluentes de enfriamiento.

Análisis de la velocidad en las tuberías principales de recolección de los efluentes de enfriamiento de los equipos seleccionados para el período de zafra 2017-2018.

Grupo de equipos	Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)	Diámetro (m)	Área (m^2)	Velocidad Mínima (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
Unificación bombas calderas 5 y 6	3	3.068	0.07793	0.00477	0.35	0.81	0.4291
Unificación (Turbo)bomba 2 caldera 4, bomba 1 de caldera 4 (450 gal/min) y tomamuestra de aireador	3	3.068	0.07793	0.00477	0.08	0.46	0.1480
Unificación bombas 1 y 2 calderas 4 y 7, y (turbo) bomba 1 caldera 7	3	3.068	0.07793	0.00477	0.07	0.78	0.2071
Unificación turbogenerador TRONA y unidades hidráulicas TRONA y condensing	3	3.068	0.07793	0.00477	0.24	0.30	0.2696
Unificación de turbogeneradores, tomamuestra de caldera 5 y 6, y ventiladores inducidos caldera 5	4	4.026	0.1023	0.00821	0.37	0.52	0.4397
Unificación planta de agua desmineralizada y bombas hidráulicas 3 y 4	2	2.067	0.05251	0.00216	0.42	0.66	0.5090

(Continuación Cuadro 268)

Grupo de equipos	Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)	Diámetro (m)	Área (m^2)	Velocidad Mínima (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Velocidad promedio (m/s)
Unificación turbogeneradores, tomamuestra de caldera 5 y 6, ventiladores inducidos caldera 5, planta DM, bombas hidráulicas 3 y 4, y tomamuestra caldera 7	4	4.026	0.1023	0.00821	0.58	0.80	0.6756
Unificación turbogeneradores, tomamuestras de calderas 7, 4, 1, 5 y 6, ventiladores inducidos de caldera 5 y1, bombas hidráulicas 1, 2, 3, 4, y 5, planta DM, bombas calderas 1 y 2, y bombas 1 y calderas 4 y 7 y (Turbo)bomba 1 caldera 7	4	4.026	0.1023	0.00821	0.78	1.35	0.9865

Cuadro 269. Temperaturas registradas para efluente de distintos equipos analizados

Equipo	Temperatura mínima (±0.5°C)	Temperatura máxima (±0.5°C)	Temperatura promedio (°C)
Bomba 1 caldera 6	27.5	32.0	29.5 ± 1.9
Bomba 2 caldera 6	27.5	30.0	29.1 ± 1.2
Bomba comodín calderas 5 y 6	30.0	31.0	30.5 ± 0.7
Bomba 2 caldera 5	28.0	31.0	30.0 ± 1.7
Bomba 1 caldera 5	31.0	33.0	31.7 ± 1.2
Bomba 1 calderas 1 y 2	27.0	31.0	29.2 ± 1.5
Bomba 2 calderas 1 y 2	27.0	30.0	29.2 ± 1.3
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	27.0	30.0	29.3 ± 1.3
(Turbo) bomba 2 caldera 4	27.5	38.0	30.6 ± 2.7
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	28.0	30.0	29.0 ± 1.4
(Turbo) bomba 1 Caldera 7	27.0	30.0	28.2 ± 1.4
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	25.0	32.0	29.1 ± 1.8
Bomba 2 calderas 4 y 7	27.0	30.0	28.6 ± 1.3
Tomamuestra vapor caldera 1	27.0	30.0	28.3 ± 1.5
Tomamuestra domo caldera 1	27.0	32.0	29.0 ± 2.6
Tomamuestra domo caldera 4	24.0	27.0	26.0 ± 1.7
Tomamuestra vapor caldera 5	26.0	28.0	26.7 ± 1.2
Tomamuestra domo caldera 5	29.0	31.0	30.3 ± 1.2
Tomamuestra vapor caldera 6	28.0	30.0	28.7 ± 1.2
Tomamuestra domo caldera 6	28.0	33.0	30.3 ± 2.5
Tomamuestra vapor caldera 7	30.0	32.0	31.0 ± 1.0
Tomamuestra domo caldera 7	28.0	30.0	29.0 ± 1.0
Tomamuestra de aireador calderas 4, 6 y 7	27.5	30.0	28.5 ± 1.3
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	27.0	30.0	29.0 ± 1.7
Bomba hidráulica 4 de movimiento de mesas de bagazo	28.0	33.0	30.3 ± 2.4
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	28.0	33.0	30.3
Ventilador inducido caldera 1	30.0	35.0	32.0 ± 2.6
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	27.0	31.0	29.7 ± 2.3

(Continuación Cuadro 269)

Equipo	Temperatura mínima (±0.5°C)	Temperatura máxima (±0.5°C)	Temperatura promedio (°C)
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	29.0	33.0	31.7 ± 2.3
Ventilador inducido 2 Caldera 5 lado bomba	27.0	31.0	28.7 ± 2.1
Ventilador inducido 2 Caldera 5 lado espiga	27.0	33.0	31.0 ± 3.5
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	31.0	38.0	36.6 ± 3.1
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	34.0	36.0	35.6 ± 0.9
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	27.0	30.0	28.7 ± 1.5
Unidad hidráulica de turbogenerador TRONA	31.0	33.0	32.0 ± 5.3
Eyector de turbogenerador TRONA	40.0	43.0	41.8 ± 5.3
Unidad hidráulica de turbogenerador condensing	27.5	33.0	29.9 ± 2.6

Cuadro 270. Análisis para determinar T_f de efluentes de equipos para propuesta

Análisis de calor sensible para determinar la temperatura de salida de los efluentes de los equipos seleccionados para la propuesta de enfriamiento en serie y con los datos de caudal promedio y temperatura máxima registrados durante el período de zafra 2017-2018.

Equipo	Calor promedio (kJ/s)	Caudal promedio (m^3/s)	Cp promedio (kJ/kg K)	Temperatura a la salida (°C)
Bomba 1 caldera 6	20.06 ± 5.65	0.000557 ± 0.000116	4.181 ± 0.001	33.7 ± 2.5
Bomba 2 caldera 6	16.05 ± 2.67	0.000519 ± 0.000075	4.181 ± 0.001	32.4 ± 1.3
Bomba comodín Calderas 5 y 6	15.85 ± 0.72	0.000700 ± 0.000121	4.180 ± 0.000	30.4 ± 0.6
Bombas 1 y 2 caldera 5	11.15 ± 3.60	0.000270 ± 0.000146	4.180 ± 0.001	34.9 ± 3.2
Bomba 1 calderas 1 y 2	10.23 ± 2.62	0.000291 ± 0.000049	4.181 ± 0.001	33.5 ± 2.2
Bomba 2 calderas 1 y 2	7.80 ± 2.36	0.000235 ± 0.000136	4.181 ± 0.001	33.0 ± 2.5
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	29.93 ± 3.63	0.000289 ± 0.000153	4.181 ± 0.001	49.9 ± 3.1
(Turbo) bomba 2 caldera 4	17.57 ± 4.71	0.000171 ± 0.000127	4.180 ± 0.001	49.7 ± 6.6
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	1.82 ± 1.82	0.000137 ± 0.000158	4.181 ± 0.001	28.2 ± 3.2
(Turbo) bomba 1 Caldera 7	35.58 ± 2.44	0.000462 ± 0.000267	4.182 ± 0.001	43.5 ± 1.4
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	14.21 ± 3.11	0.000165 ± 0.000092	4.181 ± 0.001	45.7 ± 4.5
Bomba 2 calderas 4 y 7	26.45 ± 8.71	0.000389 ± 0.000334	4.182 ± 0.001	41.3 ± 5.4
Ventiladores inducidos caldera 5	26.77 ± 17.11	0.000615 ± 0.000077	4.181 ± 0.002	38.5 ± 6.7
Unidades hidráulicas de turbogeneradores TRONA y condensing	7.23 ± 2.45	0.000232 ± 0.000073	4.180 ± 0.001	35.5 ± 2.6

Cuadro 271. Análisis de densidad para efluentes de enfriamiento de los equipos Análisis del 07/04/2018.

Equipo	Área	Punto de análisis	Temperatura (±0.05 °C)	Volumen (±0.12 mL)	masa (±0.0001 g)	Densidad, ρ (kg/m^3
Ventilador inducido 1 caldera 5, lado de bomba	Cogeneración	1	15.00	25.00	24.9511	998.04 ± 4.79
Ventiladores inducidos 1 y 2 caldera 5, lado espiga	Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9242	996.97 ± 4.79
Ventilador inducido 2 caldera 5, lado bomba	Cogeneración	1	15.00	25.00	24.9517	998.07 ± 4.79
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	15.50	25.00	24.8896	995.58 ± 4.78
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9372	997.49 ± 4.79
Planta de tratamiento de agua desmineralizada	Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9086	996.34 ± 4.78
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	15.00	25.00	24.9203	996.81 ± 4.79
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	15.00	25.00	24.9403	997.61 ± 4.79
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	15.50	25.00	24.9321	997.28 ± 4.79
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	15.50	25.00	24.9422	997.69 ± 4.79

(Continuación Cuadro 271)

Equipo	Área	Punto de análisis	Temperatura (±0.05 °C)	Volumen (±0.12 mL)	masa (±0.0001 g)	Densidad, ρ (kg/m^3) Incertidumbre kg/m^3
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9079	996.32 ± 4.78
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9082	996.33 ± 4.78
Unificación de las bombas de calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	15.50	25.00	24.9080	996.32 ± 4.78
Bomba 1 calderas 1 y 2	Calderas	1	16.00	25.00	24.9268	997.07 ± 4.79
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	1	16.00	25.00	24.9071	996.28 ± 4.78
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	1	15.50	25.00	24.8844	995.38 ± 4.78
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	1	15.00	25.00	24.9180	996.72 ± 4.78

Cuadro 272. Análisis de TSS para los efluentes de enfriamiento de equipos

Fecha 19/04/2018.

Equipo	Área	Punto de análisis	Volumen muestra (±0.5mL)	masa sólidos (± 0.0001 g)	masa sólidos (± 0.0001 g)	Variación	sólidos suspendidos (kg/m^3)
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	150	0.0049	0.0048	2.04%	0.0323 ± 0.0005
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	150	0.0039	0.0039	0.00%	0.0260 ± 0.0001
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	150	0.0024	0.0020	16.67%	0.0147 ± 0.0019
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	150	0.0022	0.0020	9.09%	0.0140 ± 0.0009
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	150	0.0029	0.0029	0.00%	0.0193 ± 0.0001
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	400	0.0010	0.0006	40.00%	0.0020 ± 0.0007
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	130	0.0069	0.0070	1.45%	0.0535 ± 0.0006
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	400	0.0007	0.0005	28.57%	0.0015 ± 0.0004
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	150	0.0038	0.0045	18.42%	0.0277 ± 0.0033
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	150	0.0035	0.0040	14.29%	0.0250 ± 0.0024

(Continuación Cuadro 272)

Equipo	Área	Punto de análisis	Volumen muestra (±0.5mL)	masa sólidos (± 0.0001 g)	masa sólidos (± 0.0001 g)	Variación	sólidos suspendidos (kg/m^3)
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	150	0.0028	0.0027	3.57%	0.0183 ± 0.0005
Unificación de bombas comodín, 2 y 1 de caldera 5	Calderas / Cogeneración	1	500	0.0006	0.0007	16.67%	0.0013 ± 0.0001
Bomba 1 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	500	0.0029	0.0037	27.59%	0.0066 ± 0.0011
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	500	0.0025	0.0021	16.00%	0.0046 ± 0.0006
(Turbo) bomba 1 caldera 7	Calderas	mezcla	500	0.0031	0.0030	3.23%	0.0061 ± 0.0001
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	300	0.0033	0.0040	21.21%	0.0122 ± 0.0017

Cuadro 273. Análisis de viscosidad para los efluentes de enfriamiento de equipos

Fecha 19/04/2018.

Equipo	Área	Punto de análisis	Temperatura (±0.05°C)	tiempo promedio (s)	Contante de viscosímetro	Viscosidad (mm^2/s, cSt)
Ventilador inducido 1 Caldera 5 Lado bomba	Cogeneración	1	30	11.03 ± 0.07	0.09580	1.057 ± 0.007
Ventilador inducido 1 Caldera 5 Lado espiga	Cogeneración	1	30	11.01 ± 0.02	0.09580	1.055 ± 0.003
Ventilador inducido 2 Caldera 5 Lado bomba	Cogeneración	1	30	10.88 ± 0.05	0.09580	1.043 ± 0.005
Ventilador inducido 2 Caldera 5 Lado espiga	Cogeneración	1	30	11.03 ± 0.07	0.09580	1.056 ± 0.007
Torre de enfriamiento calderas Bloque 1	Cogeneración	1	30	10.80 ± 0.10	0.09580	1.035 ± 0.009
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	30	11.31 ± 0.01	0.09580	1.084 ± 0.002
Torre de enfriamiento calderas Bloque 2	Cogeneración	1	30	10.97 ± 0.04	0.09580	1.051 ± 0.005
Bombas Hidráulicas 3 y 4 de Movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	30	10.85 ± 0.05	0.09580	1.039 ± 0.005

(Continuación Cuadro 273**)**

Equipo	Área	Punto de análisis	Temperatura (±0.05°C)	tiempo promedio (s)	Contante de viscosímetro	Viscosidad (mm^2/s, cSt)
Turbogenerador Condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	30	10.68 ± 0.06	0.09580	1.023 ± 0.006
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	30	10.77 ± 0.02	0.09580	1.032 ± 0.003
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	30	11.25 ± 0.03	0.09580	1.078 ± 0.004
Unificación de bombas comodín, 2 y 1 de caldera 5	Calderas / Cogeneración	1	30	11.28 ± 0.14	0.09580	1.080 ± 0.013
Bomba 1 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	30	10.83 ± 0.01	0.09580	1.037 ± 0.003
Bomba 2 Calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	30	10.96 ± 0.04	0.09580	1.050 ± 0.004
(Turbo) Bomba 1 Caldera 7	Calderas	mezcla	30	10.85 ± 0.06	0.09580	1.039 ± 0.006
Bombas Hidráulicas 1 y 2 de Arados de conductores de bagazo	Calderas	1	30	10.88 ± 0.06	0.09580	1.042 ± 0.006

Cuadro 274. Valores de pH para efluentes de distintos equipos analizados.

Análisis realizado durante el período de zafra 2017-2018 en los días 23/03/2018, 07/04/2018 y 19/04/2018.

Equipo	Área	Punto de análisis	pH (±0.01)
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	7.49
Bomba 2 caldera 6	Calderas	2	7.46
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	7.72
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	7.70
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	7.84
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	7.90
Unificación de las bombas calderas 5 y 6	Calderas/Cogeneración	1	8.02
Bomba 1 caldera 1 y 2	Calderas	mezcla	7.93
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	2	7.86
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	3	7.71
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	7.69
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	7.59
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	mezcla	7.93
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	mezcla	7.89
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	7.70
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	7.62
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	7.76
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	8.81
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	8.89
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	8.83
Ventilador inducido 2 caldera 5, lado bomba	Cogeneración	1	8.91
Ventilador inducido 2 Caldera 5 Lado espiga	Cogeneración	1	8.80
Ventiladores inducidos 1 y 2 caldera 5, lado espiga	Cogeneración	1	8.93
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	8.85

(Continuación Cuadro 274)

Equipo	Área	Punto de análisis	pH (±0.01)
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	8.91
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	8.84
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	8.89
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	8.83
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	8.92
Planta de tratamiento de agua desmineralizada	Cogeneración	1	8.28
Planta de tratamiento de agua desmineralizada	Cogeneración	1	8.52
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	8.88
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	9.18
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	8.78
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	8.91

Observaciones:

[1] Se debe considerar que el valor de pH para el tanque elevado de fábrica, que suministra agua al tanque elevado auxiliar, se encuentra entre 8.07 y 7.92, mientras que para la torre de enfriamiento se encuentra entre 7.8 y 8.3.

Cuadro 275. Valores de dureza obtenidos para efluentes analizados

Análisis realizado para el período de zafra 2017-2018 en los días 23/03/2018, 07/04/2018 y 19/04/2018.

Equipo	Área	Punto	Dureza (±0.001 ppm $CaCO_3$)
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	108.885
Bomba 2 caldera 6	Calderas	2	110.670
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	132.090
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	142.800
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	105.315
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	165.110
Unificación de las bombas de calderas 5 y 6	Calderas/Cogeneración	1	142.800
Bomba 1 caldera 1 y 2	Calderas	mezcla	156.190
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	2	130.300
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	3	135.660
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	153.510
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	130.310
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	mezcla	145.470
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	mezcla	136.550
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	139.230
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	139.230
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	151.725
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	340.930
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	430.185
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	344.500
Ventilador inducido 2 caldera 5, lado bomba	Cogeneración	1	468.560

(Continuación Cuadro 275)

Equipo	Área	Punto	Dureza (±0.001 ppm $CaCO_3$)
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	342.720
Ventiladores inducidos 1 y 2 caldera 5, lado espiga	Cogeneración	1	468.560
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	333.790
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	432.860
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	324.870
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	446.250
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	332.010
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	455.175
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	185.640
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	117.810
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	257.040
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	293.630
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	335.580
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	419.470

Observaciones:

[1] Se debe considerar que el valor de dureza para el tanque elevado de fábrica, que suministra agua al tanque elevado auxiliar, se encuentra entre 133.860 y 142.800 ppm $CaCO_3$, mientras que para la torre de enfriamiento se encuentra entre 240 y 260 ppm $CaCO_3$.

Cuadro 276. Valores de conductividad para los efluentes de distintos equipos analizados.

Análisis realizado durante el período de zafra 2017-2018 en los días 23/03/2018, 07/04/2018 y 19/04/2018.

Equipo	Área	Punto	Conductividad (±1 µS/cm)
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	268
Bomba 2 caldera 6	Calderas	2	271
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	266
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	273
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	268
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	279
Unificación de las bombas de calderas 5 y 6	Calderas/Cogeneración	1	257
Bomba 1 caldera 1 y 2	Calderas	mezcla	276
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	2	267
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	3	270
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	278
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	267
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	mezcla	274
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	mezcla	266
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	269
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	268
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	268
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	675
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	816
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	660
Ventilador inducido 2 caldera 5, lado bomba	Cogeneración	1	812
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	664
Ventiladores inducidos 1 y 2 caldera 5, lado espiga	Cogeneración	1	820
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	682

(Continuación Cuadro 276)

Equipo	Área	Punto	Conductividad (±1 µS/cm)
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	808
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	663
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	799
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	678
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	814
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	396
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	219
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	656
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	555
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	673
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	804

Observaciones:

[1] Se debe considerar que el valor de conductividad para el tanque elevado de fábrica, que suministra agua al tanque elevado auxiliar, se encuentra entre 294 y 302 µS/cm, mientras que para la torre de enfriamiento se encuentra entre 1000 y 1100 µS/cm.

Cuadro 277. Valores de salinidad obtenidos para efluentes de distintos equipos

Análisis realizado durante el período de zafra 2017-2018 en los días 23/03/2018, 07/04/2018 y 19/04/2018

Equipo	Área	Punto	Salinidad (±1 ppm)
Bomba 2 caldera 6	Calderas	1	126
Bomba 2 caldera 6	Calderas	2	128
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	126
Bomba 2 caldera 5	Cogeneración	1	125
Bomba 1 caldera 5	Cogeneración	1	127
Bomba comodín calderas 5 y 6	Calderas / Cogeneración	1	128
Unificación de las bombas de calderas 5 y 6	Calderas/Cogeneración	1	177
Bomba 1 caldera 1 y 2	Calderas	mezcla	127
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	2	126
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	Calderas	3	127
Bomba 2 calderas 1 y 2	Calderas	mezcla	127
Bomba 2 calderas 4 y 7	Calderas	mezcla	126
(Turbo) bomba 2 caldera 4	Calderas	mezcla	125
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	Calderas	mezcla	122
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	Calderas	1	128
Bombas Hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	126
Bombas Hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	Calderas	1	123
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	326
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	Cogeneración	1	386
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	318
Ventilador inducido 2 caldera 5, lado bomba	Cogeneración	1	386

(Continuación **Cuadro** 277)

Equipo	Área	Punto	Salinidad (±1 ppm)
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	Cogeneración	1	320
Ventiladores inducidos 1 y 2 caldera 5, lado espiga	Cogeneración	1	389
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	329
Turbogenerador condensing	Cogeneración	Unidad hidráulica	383
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	322
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Eyector	378
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	328
Turbogenerador TRONA	Cogeneración	Unidad hidráulica	385
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	188
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	Cogeneración	1	100
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	317
Torre de enfriamiento calderas bloque 2	Cogeneración	1	260
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	326
Torre de enfriamiento calderas bloque 1	Cogeneración	1	376

Observaciones:

[1] Se debe considerar que el valor de salinidad para el tanque elevado de fábrica, que suministra agua al tanque elevado auxiliar, se encuentra entre 134 y 139 ppm.

Cuadro 278. Análisis de T para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento.

Análisis de condiciones de temperatura para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 sin aplicar la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	Temperatura máxima (±0.5 °C)	Cp (kJ / kg K)	Calor absorbido (kJ/s)
Bomba 1 caldera 6	0.001115 ± 0.000223	32.00	4.18	-0.000090 ± 0.000018
Bomba 2 caldera 6	0.001038 ± 0.000165	30.00	4.18	0.000460 ± 0.000074
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000700 ± 0.000121	31.00	4.18	0.000127 ± 0.000022
Bomba 2 caldera 5	0.000186 ± 0.000015	31.00	4.18	0.000034 ± 0.000003
Bomba 1 caldera 5	0.000270 ± 0.000146	33.00	4.18	-0.000092 ± 0.000050
Bomba 1 calderas 1 y 2	0.000581 ± 0.000022	31.00	4.18	0.000105 ± 0.000004
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000470 ± 0.000069	30.00	4.18	0.000209 ± 0.000031
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.001460 ± 0.000749	30.00	4.18	0.000648 ± 0.000333
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000856 ± 0.000039	38.00	4.18	-0.001413 ± 0.000067
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	0.000274 ± 0.000013	30.00	4.18	0.000122 ± 0.000006
(Turbo) bomba 1 caldera 7	0.002284 ± 0.000134	30.00	4.18	0.001013 ± 0.000062
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000826 ± 0.000038	32.00	4.18	-0.000067 ± 0.000003
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.001615 ± 0.000481	30.00	4.18	0.000716 ± 0.000214
Toma muestra vapor caldera 1	0.000127 ± 0.000057	30.00	4.18	0.000057 ± 0.000025
Toma muestra domo caldera 1	0.000134 ± 0.000034	32.00	4.18	-0.000011 ± 0.000003
Toma muestra domo caldera 4	0.000631 ± 0.000259	27.00	4.18	0.000776 ± 0.000319
Toma muestra vapor caldera 5	0.000342 ± 0.000109	28.00	4.18	0.000331 ± 0.000106
Toma muestra domo caldera 5	0.000612 ± 0.000219	31.00	4.18	0.000111 ± 0.000040
Toma muestra vapor caldera 6	0.000335 ± 0.000133	30.00	4.18	0.000149 ± 0.000059
Toma muestra domo caldera 6	0.000420 ± 0.000004	33.00	4.18	-0.000144 ± 0.000003
Toma muestra vapor caldera 7	0.000166 ± 0.000025	32.00	4.18	-0.000013 ± 0.000002
Toma muestra domo caldera 7	0.000180 ± 0.000005	30.00	4.18	0.000080 ± 0.000003
Toma muestra deaireador calderas 4, 6 y 7	0.000328 ± 0.000115	30.00	4.18	0.000146 ± 0.000051
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000116	30.00	4.18	0.000092 ± 0.000051
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000980 ± 0.000511	33.00	4.18	-0.000336 ± 0.000175

(Continuación Cuadro 278)

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	Temperatura máxima (±0.5 °C)	Cp (kJ / kg K)	Calor absorbido (kJ/s)
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	0.000490	33.00	4.18	-0.000168 ± 0.000003
Ventilador inducido caldera 1	0.001717 ± 0.000111	35.00	4.18	-0.001488 ± 0.000099
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado bomba	0.000615 ± 0.000077	31.00	4.18	0.000112 ± 0.000014
Ventilador inducido 1 caldera 5 lado espiga	0.000855 ± 0.000108	33.00	4.18	-0.000293 ± 0.000037
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado bomba	0.001394 ± 0.000054	31.00	4.18	0.000253 ± 0.000011
Ventilador inducido 2 caldera 5 lado espiga	0.000584 ± 0.000044	33.00	4.18	-0.000200 ± 0.000015
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	30.00	4.18	0.000163 ± 0.000021
Unidad hidráulica turbogenerador TRONA	0.000353 ± 0.000085	33.00	4.18	-0.000121 ± 0.000029
Eyector turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	43.00	4.18	-0.001087 ± 0.000136
Turbogenerador condensing	0.000232 ± 0.000073	33.00	4.18	-0.000121 ± 0.000025

(Continuación Cuadro 278)

Calor total absorbido (±0.01 kJ/s)	0.00
Temperatura final (±0.1°C)	31.69

Cuadro 279. Condiciones de T para tanque receptor de efluentes de equipos analizados.

Análisis de condiciones de temperatura para el tanque receptor de los efluentes de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 y aplicando la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	Temperatura máxima (±0.5 °C)	Cp (kJ / kg K)	Calor absorbido (kJ/s)
Bomba 1 caldera 6	0.000557 ± 0.000116	33.7	4.18	0.000153 ± 0.000032
Bomba 2 caldera 6	0.000519 ± 0.000075	32.4	4.18	0.000310 ± 0.000045
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000700 ± 0.000121	30.4	4.18	0.000785 ± 0.000137
Bombas 2 y 1 caldera 5	0.000270 ± 0.000146	34.9	4.18	-0.000015 ± 0.000008
Bomba 1 calderas 1 y 2	0.000291 ± 0.000049	33.5	4.18	0.000096 ± 0.000016
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000235 ± 0.000136	33.0	4.18	0.000107 ± 0.000062
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000289 ± 0.000153	49.9	4.18	-0.001139 ± 0.000604
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000171 ± 0.000127	49.7	4.18	-0.000666 ± 0.000496
Bomba 1 calderas 4 y 7 (1000 gal/min)	0.000137 ± 0.000158	28.2	4.18	0.000235 ± 0.000271
(Turbo) bomba 1 caldera 7	0.000462 ± 0.000267	43.5	4.18	-0.001058 ± 0.000613
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000206 ± 0.000037	45.7	4.18	-0.000589 ± 0.000106
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000389 ± 0.000334	41.3	4.18	-0.000670 ± 0.000576
Tomamuestra vapor caldera 1	0.000127 ± 0.000057	30.0	4.18	0.000158 ± 0.000071
Tomamuestra domo caldera 1	0.000134 ± 0.000034	32.0	4.18	0.000095 ± 0.000024
Tomamuestra domo caldera 4	0.000631 ± 0.000259	27.0	4.18	0.001278 ± 0.000526
Tomamuestra vapor caldera 5	0.000342 ± 0.000109	28.0	4.18	0.000603 ± 0.000193
Tomamuestra domo caldera 5	0.000612 ± 0.000219	31.0	4.18	0.000596 ± 0.000214
Tomamuestra vapor caldera 6	0.000335 ± 0.000133	30.0	4.18	0.000414 ± 0.000165
Tomamuestra domo caldera 6	0.000420 ± 0.000004	33.0	4.18	0.000189 ± 0.000003
Tomamuestra vapor caldera 7	0.000166 ± 0.000025	32.0	4.18	0.000118 ± 0.000018
Tomamuestra domo caldera 7	0.000180 ± 0.000005	30.0	4.18	0.000222 ± 0.000007
Tomamuestra deaireador calderas 4, 6 y 7	0.000328 ± 0.000115	30.0	4.18	0.000406 ± 0.000143
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000116	30.0	4.18	0.000258 ± 0.000143
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000735 ± 0.000182	33.0	4.18	0.000330 ± 0.000082
Bomba hidráulica 5 de conductor de retorno	0.000490	33.0	4.18	0.000220 ± 0.000003
Ventilador inducido caldera 1	0.001717 ± 0.000111	35.0	4.18	-0.000128 ± 0.000008

(Continuación Cuadro 279)

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	Temperatura máxima (±0.5 °C)	Cp (kJ / kg K)	Calor absorbido (kJ/s)
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000615 ± 0.000077	38.5	4.18	-0.000601 ± 0.000075
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	30.0	4.18	0.000454 ± 0.000060
Unidades hidráulicas turbogeneradores TRONA y condensing	0.000232 ± 0.000073	35.5	4.18	-0.000047 ± 0.000015
Eyector turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	43.0	4.18	-0.002276 ± 0.000102

(Continuación Cuadro 279)

Calor total absorbido (±0.01 kJ/s)	0.00
Temperatura final (±0.1°C)	34.72

Cuadro 280. Análisis de pH para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento.

Análisis de condiciones de pH para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 y aplicando la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	pH máximo	$[H^+]$	moles de $H^+]/s$
Bomba 2 caldera 6	0.000557 ± 0.000116	7.49 ± 0.02	$3.24 \times 10^{-8} \pm 9.52 \times 10^{-1}$	$1.80 \times 10^{-8} \pm 5.31 \times 10^{-1}$
Bombas 1 y 2 caldera 5	0.000270 ± 0.000146	7.72 ± 0.01	$1.91 \times 10^{-8} \pm 9.68 \times 10^{-1}$	$5.14 \times 10^{-9} \pm 2.61 \times 10^{-1}$
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000700 ± 0.000121	7.9 ± 0.01	$1.26 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$8.82 \times 10^{-9} \pm 6.85 \times 10^{-1}$
Bomba 1 caldera 1 y 2	0.000291 ± 0.000049	7.93 ± 0.01	$1.17 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$3.41 \times 10^{-9} \pm 2.84 \times 10^{-1}$
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000289 ± 0.000153	7.86 ± 0.11	$1.38 \times 10^{-8} \pm 7.83 \times 10^{-1}$	$3.99 \times 10^{-9} \pm 2.26 \times 10^{-1}$
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000235 ± 0.000136	7.69 ± 0.01	$2.04 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$4.80 \times 10^{-9} \pm 2.30 \times 10^{-1}$
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000389 ± 0.000334	7.59 ± 0.01	$2.57 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$1.00 \times 10^{-8} \pm 3.80 \times 10^{-1}$
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000171 ± 0.000127	7.93 ± 0.01	$1.17 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$2.01 \times 10^{-9} \pm 1.67 \times 10^{-1}$
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000206 ± 0.000037	7.89 ± 0.01	$1.29 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$2.66 \times 10^{-9} \pm 2.02 \times 10^{-1}$
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000116	7.7 ± 0.01	$2.00 \times 10^{-8} \pm 9.77 \times 10^{-1}$	$4.16 \times 10^{-9} \pm 2.04 \times 10^{-1}$
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000735 ± 0.000182	7.76 ± 0.10	$1.74 \times 10^{-8} \pm 7.96 \times 10^{-1}$	$1.28 \times 10^{-8} \pm 5.85 \times 10^{-1}$
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000615 ± 0.000077	8.89 ± 0.06	$1.29 \times 10^{-9} \pm 8.78 \times 10^{-1}$	$7.93 \times 10^{-10} \pm 5.40 \times 10^{-1}$
Unidad hidráulica turbogenerador condensing y TRONA	0.000232 ± 0.000073	8.91 ± 0.04	$1.23 \times 10^{-9} \pm 9.07 \times 10^{-1}$	$2.85 \times 10^{-10} \pm 2.10 \times 10^{-1}$

(Continuación Cuadro 280)

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	pH máximo	[H+]	moles de H/s
Eyector turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	8.89 ± 0.04	$1.29 \times 10^{-9} \pm 9.22 \times 10^{-1}$	$1.36 \times 10^{-9} \pm 9.72 \times 10^{-1}$
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	8.52 ± 0.17	$3.02 \times 10^{-9} \pm 6.77 \times 10^{-1}$	$1.11 \times 10^{-9} \pm 2.48 \times 10^{-1}$
			moles H totales /s	$7.93 \times 10^{-8} \pm 1.72$
			[H+] total	$1.26 \times 10^{-8} \pm 0.27$
			pH	7.90 ± 0.57

Observaciones:

[1] Para la sumatoria final no se consideran los valores de la bomba 1 de caldera 5, ventilador inducido 1 lado espiga y ventilador inducido 2 lado bomba y espiga de la caldera 5 y la unidad hidráulica del turbogenerador TRONA, puesto que en estos equipos se usará el agua de enfriamiento de otro equipo cercano seleccionado.

Cuadro 281. Análisis de dureza para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento.

Análisis de condiciones de dureza para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 y aplicando la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal (m^3/s)	Dureza máxima (ppm $CaCO_3$)	mg $CaCO_3$ /s
Bomba 2 caldera 6	0.000519 ± 0.000075	110.670 ± 1.262	57.424 ± 8.360
Bombas 1 y 2 caldera 5	0.000270 ± 0.000146	142.800 ± 7.573	38.539 ± 20.949
Bomba comodín Calderas 5 y 6	0.000700 ± 0.000121	165.110 ± 15.776	115.653 ± 22.894
Bomba 1 caldera 1 y 2	0.000291 ± 0.000049	156.190 ± 0.001	45.391 ± 7.689
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000289 ± 0.000153	135.660 ± 3.790	39.211 ± 20.827
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000235 ± 0.000136	153.510 ± 0.001	36.077 ± 20.944
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000389 ± 0.000334	130.310 ± 0.001	50.736 ± 43.565
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000171 ± 0.000127	145.470 ± 0.001	24.896 ± 18.531
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000206 ± 0.000037	136.550 ± 0.001	28.192 ± 5.060
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000116	139.230 ± 0.001	29.015 ± 16.105
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000735 ± 0.000182	151.725 ± 8.835	111.490 ± 28.398
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000615 ± 0.000077	430.185 ± 63.113	264.708 ± 50.953
Unidades hidráulicas turbogeneradores condensing y TRONA	0.000232 ± 0.000073	432.860 ± 70.053	100.440 ± 35.708
Eyector Turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	446.250 ± 85.829	470.330 ± 92.722
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	185.640 ± 47.963	68.168 ± 19.722
		mg/s totales	1480.269 ± 134.740
		Dureza final (ppm $CaCO_3$)	219.489 ± 27.734

Observaciones:

[1] Para la sumatoria final no se consideran los valores de la bomba 1 de caldera 5, ventilador inducido 1 lado espiga y ventilador inducido 2 lado bomba y espiga de la caldera 5 y la unidad hidráulica del turbogenerador TRONA, puesto que en estos equipos se usará el agua de enfriamiento de otro equipo cercano seleccionado.

Cuadro 282. Análisis de salinidad para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento

Análisis de condiciones de salinidad para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 y aplicando la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal promedio (m3/s)	Salinidad máxima (ppm)	mg sales / s
Bomba 2 caldera 6	0.000519 ± 0.000075	128 ± 1	66 ± 10
Bombas 1 y 2 caldera 5	0.000270 ± 0.000146	126 ± 1	34 ± 18
Bomba comodín calderas 5 y 6	0.000700 ± 0.000121	177 ± 35	124 ± 32
Bomba 1 caldera 1 y 2	0.000291 ± 0.000049	127 ± 1	37 ± 6
(Turbo) bomba 3 calderas 1 y 2	0.000289 ± 0.000153	127 ± 1	37 ± 19
Bomba 2 calderas 1 y 2	0.000235 ± 0.000136	127 ± 1	30 ± 17
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000389 ± 0.000334	126 ± 1	49 ± 42
(Turbo) bomba 2 caldera 4	0.000171 ± 0.000127	125 ± 1	21 ± 16
Bomba 1 caldera 4 (450 gal/min)	0.000206 ± 0.000037	122 ± 1	25 ± 5
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000013	128 ± 1	27 ± 2
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000735 ± 0.000182	126 ± 2	93 ± 23
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000615 ± 0.000077	386 ± 42	238 ± 39
Unidades hidráulicas de turbogeneradores condensing y TRONA	0.000232 ± 0.000073	383 ± 38	89 ± 29
Eyector turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	378 ± 40	398 ± 45
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	188 ± 62	69 ± 25
		mg totales	1336.59 ± 99.26
		Salinidad final (ppm)	198.18 ± 22.51

Observaciones:

[1] Para la sumatoria final no se consideran los valores de la bomba 1 de caldera 5, ventilador inducido 1 lado espiga y ventilador inducido 2 lado bomba y espiga de la caldera 5 y la unidad hidráulica del turbogenerador TRONA, puesto que en estos equipos se usará el agua de enfriamiento de otro equipo cercano seleccionado.

Cuadro 283. Análisis de TSS para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento.

Análisis de condiciones de sólidos suspendidos para el tanque receptor de los efluentes de enfriamiento de los equipos analizados durante la zafra 2017-2018 y aplicando la propuesta de enfriamiento en serie en los equipos seleccionados.

Equipo	Caudal promedio (m^3/s)	Sólidos suspendidos (kg/m^3)	kg/s
Unificación de bombas comodín, 2 y 1 de caldera 5	0.002047 ± 0.000459	0.0013 ± 0.0001	0.000003 ± 0.000001
Bomba 1 caldera 1 y 2	0.000291 ± 0.000049	0.0066 ± 0.0011	0.0000019 ± 0.0000005
Bomba 2 calderas 4 y 7	0.000389 ± 0.000334	0.0046 ± 0.0006	0.000002 ± 0.000002
(Turbo) bomba 1 caldera 7	0.000462 ± 0.000267	0.0061 ± 0.0001	0.000003 ± 0.000002
Bombas hidráulicas 1 y 2 de arados de conductores de bagazo	0.000208 ± 0.000013	0.0122 ± 0.0017	0.0000025 ± 0.0000004
Bombas hidráulicas 3 y 4 de movimiento de mesas de bagazo	0.000735 ± 0.000182	0.0015 ± 0.0004	0.0000011 ± 0.0000004
Ventiladores inducidos caldera 5	0.000615 ± 0.000077	0.0323 ± 0.0005	0.000020 ± 0.000002
Unidades hidráulicas de turbogeneradores condensing y TRONA	0.000232 ± 0.000073	0.0277 ± 0.0033	0.000006 ± 0.000002
Eyector turbogenerador TRONA	0.001054 ± 0.000046	0.0250 ± 0.0024	0.000026 ± 0.000003
Planta de tratamiento para agua desmineralizada	0.000367 ± 0.000048	0.0020 ± 0.0007	0.0000007 ± 0.0000003
		kg/s totales	$0.000066 \pm 4.95 \times 10^{-6}$
		Sólidos suspendidos final (kg/m3)	0.012602 ± 0.001547

Observaciones:

[1] Para la sumatoria final no se consideran los valores del ventilador inducido 1 lado espiga y ventilador inducido 2 lado bomba y espiga de la caldera 5 y la unidad hidráulica del turbogenerador TRONA, puesto que en estos equipos se usará el agua de enfriamiento de otro equipo cercano seleccionado.

Cuadro 284. Parámetros fisicoquímicos de fuentes de agua en el ingenio

Análisis realizados en fechas 02/04/2018, 05/04/2018 y 11/04/2018

Muestra	Temperatura (± 0.5˚C)	pH (±0.01)	Conductividad (±1 µS/cm)	Salinidad (±1 ppm)	Dureza (±0.001 ppm $CaCO_3$)	Hierro (± 0.01 ppm)
Tanque elevado de fábrica	25.0	8.07	302.0	139.0	133.860	
Tanque elevado de fábrica	25.0	7.92	294.0	134.0	142.800	0.04
Pozo 4 (virgen)	24.0	8.50	335.0	154.0	142.800	
Pozo 4 (virgen)	24.0	8.41	331.0	151.0	142.800	0.02
Pozo hotel	21.0	7.67	222.0	102.0	177.810	
Pozo hotel	26.0	7.52	221.0	100.0	124.060	0.00
Pozo calderas	22.0	7.67	198.4	91.3	112.450	
Pozo calderas	28.0	7.36	197.6	90.1	120.490	0.00
Río Provincias	20.5	8.45	185.2	85.7	108.880	
Río Provincias	20.0	8.63	164.7	75.0	107.100	0.18
Torre enfriamiento bloque 1	28.0					

Cuadro 285. Condiciones del agua en el tanque receptor de los efluentes de los equipos.

Condiciones fisicoquímicas del agua en el tanque receptor de los efluentes de los equipos cuyos datos se determinaron durante la zafra 2017-2018 y bajo condiciones de caudal promedio.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura sin propuesta de enfriamiento en serie	31.7 ± 0.5	°C
Temperatura con propuesta de enfriamiento en serie	34.7 ± 0.5	°C
pH con propuesta de enfriamiento en serie	7.90 ± 0.57	
Dureza con propuesta de enfriamiento en serie	219.489 ± 27.734	ppm CaCO3
Salinidad con propuesta de enfriamiento en serie	198.18 ± 22.51	ppm
Sólidos suspendidos con propuesta de enfriamiento en serie	0.0091 ± 0.0048	kg/m^3

Cuadro 286. Resultados de la cabeza total y NPSH de la bomba para circuito de bombeo.

Datos y resultados en la determinación de la cabeza total y NPSH calculado de la bomba para el circuito de bombeo seleccionado.

Datos de la tubería	Valor	Unidades
Material tubería	Hierro negro	
Diámetro nominal en la succión	6	pulgadas
Diámetro interno en la succión	6.065	pulgadas
	0.1541	m
Área transversal en la succión	0.019	m^2
Diámetro nominal en la descarga	5	pulgadas
Diámetro interno en la descarga	5.047	pulgadas
	0.1282	m
Área transversal en la descarga	0.0129	m^2
Rugosidad absoluta	0.259	mm
	0.000259	m
Rugosidad relativa	0.002020	
Datos del fluido	**Valor**	**Unidades**
Fluido	Agua	
Temperatura	34.72	°C
Viscosidad	0.000798	kg /m s
Densidad	994.07	kg/m^3
Fuerza de gravedad	9.81	m/s^2
Datos del sistema	**Valor**	**Unidades**
Caudal	352.94	gal/min
	0.02227	m^3/s
Flujo másico	22.135	kg/s
Presión 1	17.52	psi
	120828.65	Pa
	12.39	m H_2O
Presión 2	10	psi
	68947.57	Pa
	7.07	m H_2O
Z1	0	m
Z2	7.6	m
Velocidad del fluido en la succión	1.19	m/s
Velocidad del fluido en la descarga	1.73	m/s
No. de Reynolds	2.76×10^5	
Factor de fricción	0.0060	

(Continuación Cuadro 286)

Accesorio y tubería	Valor	Unidades
Tramo de tubería de succión	5.90	m
Tramo de tubería de descarga	72.50	m
Válvula de compuerta abierta	1	Unidades
Codos 90° estándar de transición larga	18	Unidades
Codos 45° estándar de transición larga	2	Unidades
Accesorio T	1	Unidades
Reducción 6-4	1	Unidades
Expansión 3-5	1	Unidades
Unión universal	16	Unidades
Válvula de retención tipo bisagra	1	Unidades
Pérdidas por fricción por contracción a la salida del tanque	Valor	Unidades
Área Transversal en sección amplia, Sa	0.79	m^2
Área transversal en sección estrecha, Sb	0.02	m^2
Coef.de pérdida por contracción, Kc	0.39	
Velocidad media conducción estrecha, Vb	1.19	m/s
Pérdida por fricción debido a contracción brusca, h_{fc}	0.28	m^2/s^2
Pérdidas por fricción por contracción en succión	Valor	Unidades
Área Transversal en sección amplia, Sa	0.019	m^2
Área transversal en sección estrecha, Sb	0.008	m^2
Coef.de pérdida por contracción, Kc	0.22	
Velocidad media conducción estrecha, Vb	2.71	m/s
Pérdida por fricción debido a contracción brusca, h_{fc}	0.82	m^2/s^2
Pérdidas por fricción por ensanchamiento en punto final	Valor	Unidades
Área Transversal en sección estrecha, Sa	0.01	m^2
Área transversal en sección amplia, Sb	0.79	m^2
Coeficiente de pérdida por expansión, Ke	0.97	
Velocidad media en la parte estrecha, Va	1.73	m/s
Pérdida por fricción debido a expansión brusca, h_{fe}	1.44	m^2/s^2
Pérdidas por fricción por ensanchamiento en descarga	Valor	Unidades
Área Transversal en sección amplia, Sa	0.005	m^2
Área transversal en sección estrecha, Sb	0.013	m^2
Coef.de pérdida por contracción, Kc	0.40	
Velocidad media conducción estrecha, Va	4.67	m/s
Pérdida por fricción debido a contracción brusca, h_{fc}	4.33	m^2/s^2
Pérdidas por fricción por válvulas y accesorios	Valor	Unidades
Factor de pérdida para el accesorio, Kf	24.59	
Velocidad media en tubería que conduce al accesorio, Va	1.73	m/s
Pérdida por fricción de accesorios, h_{ff}	36.60	m^2/s^2

(Continuación Cuadro 286)

Pérdidas por fricción de superficie	Valor	Unidades
Largo de tubería succión	5.90	m
Velocidad media en tubería de succión	1.19	m/s
Pérdida por fricción de superficie, h_{fs}	0.66	m^2/s^2
Largo de tubería descarga	72.50	m
Velocidad media en tubería de descarga	1.73	m/s
Pérdida por fricción de superficie, h_{fs}	20.20	m^2/s^2
Pérdida por fricción de superficie total, h_{fs}	20.86	m^2/s^2
Fricción total (cabeza dinámica)	**Valor**	**Unidades**
Fricción dinámica total, h_f	64.33	m^2/s^2
Cabeza total de la bomba	**Valor**	**Unidades**
Cabeza estática de la bomba	12.92	m
Cabeza dinámica de la bomba	6.56	m
Cabeza total de la bomba	19.48	m
Valores para el NPSH calculado	**Valor**	**Unidades**
Pa	101324.66	Pa
Pv	5568.45	Pa
Pérdida por fricción debido a contracción brusca, h_{fc}	1.10	m^2/s^2
Pérdida por fricción de accesorios, h_{ff}	1.070	m^2/s^2
Pérdida por fricción de superficie, h_{fs}	0.623	m^2/s^2
H_{fs} en línea de succión	2.79	
Altura desde nivel del depósito hasta succión de la bomba, Za	2.5	m
NPSH	7.03	m

Cuadro 287. Accesorios requeridos para la distribución de los efluentes de enfriamiento

Cantidad, tipo y cotización de accesorios requeridos para la distribución de los efluentes de enfriamiento de los equipos hacia el tanque receptor de agua.

Requerimiento	Diámetro (in)	Material	Cantidad (m o unidades)	Costo	Unidad	Costo total
Tubería	0.5	Hierro negro	9.3	Q16.40	m	Q152.56
Tubería	1	Hierro negro	457.4	Q17.09	m	Q7,818.93
Tubería	2	Hierro negro	90.0	Q37.20	m	Q3,348.43
Tubería	3	Hierro negro	101.9	Q77.36	m	Q7,883.21
Tubería	4	Hierro negro	107.5	Q108.89	m	Q11,705.79
Tubería	8	Hierro negro	0.2	Q301.71	m	Q60.34
Codos 90°	0.5	Hierro negro	17	Q6.06	unidad	Q103.02
Codos 90°	1	Hierro negro	158	Q14.76	unidad	Q2,332.08
Codos 90°	2	Hierro negro	2	Q43.39	unidad	Q86.78
Codos 90°	3	Hierro negro	16	Q123.16	unidad	Q1,970.56
Codos 90°	4	Hierro negro	3	Q233.62	unidad	Q700.86
Codos 45°	1	Hierro negro	2	Q16.08	unidad	Q32.16
Codos 45°	3	Hierro negro	4	Q156.40	unidad	Q625.60
Accesorio T	1--1--1	Hierro negro	4	Q17.03	unidad	Q68.12
Accesorio T	1--3--1	Hierro negro	1	Q50.34	unidad	Q50.34
Accesorio T	2--1--2	Hierro negro	1	Q80.44	unidad	Q80.44
Accesorio T	2--2--2	Hierro negro	1	Q65.95	unidad	Q65.95
Accesorio T	3--1--3	Hierro negro	7	Q190.90	unidad	Q1,336.30
Accesorio T	3--3--3	Hierro negro	0	Q158.26	unidad	Q0.00
Accesorio T	4--1--4	Hierro negro	8	Q369.08	unidad	Q2,952.64
Accesorio T	4--3--4	Hierro negro	2	Q385.27	unidad	Q770.54
Accesorio T	4--4--4	Hierro negro	1	Q308.47	Unidad	Q308.47
Accesorio tipo cruz	1--1--1--1	Hierro negro	1	Q34.81	unidad	Q34.81
Reductor	1--0.5	Hierro negro	2	Q16.40	unidad	Q32.80
Expansor	0.5--1	Hierro negro	3	Q16.40	unidad	Q49.20
Expansor	1--2	Hierro negro	1	Q37.60	unidad	Q37.60
Expansor	1--3	Hierro negro	3	Q98.85	unidad	Q296.55
Expansor	2--4	Hierro negro	1	Q100.75	unidad	Q100.75
Expansor	3--4	Hierro negro	1	Q120.45	unidad	Q120.45
Válvulas de bola	1	Hierro negro	9	Q150.25	unidad	Q1,352.25
					Total	Q44,477.53

Observaciones:

[1] Las válvulas de bola se utilizan en los tomamuestras de vapor, domo y deaireador de las calderas, abriéndose las mismas al momento de tomar una muestra.

Cuadro 288. Dimensiones generales del tanque de receptor de los efluentes de enfriamiento.

Aspecto	Valor	Unidades
Fluido a almacenar	Agua	
Caudal máximo por recibir	352.9 ± 2.9 0.02227 ± 0.000180	gal/min m^3/s
Caudal promedio por recibir	204.8 ± 11.9 0.01292 ± 0.000751	gal/min m^3/s
Altura del tanque	2.00	m
Diámetro del tanque	1.00	m
Volumen del tanque	1.57 414.96	m^3 Gal
Área superficial tanque	7.85	m^2

Cuadro 289. Cotizaciones para el tanque receptor de efluentes de enfriamiento

Requerimiento	Cantidad	Costo	Costo total
Láminas de 8x4 pies y grosor de 5/16”	3	Q1,218.00	Q3,654.00
Anticorrosivo Kromik Universal HS Metal Primer Mate Gris	1	Q440.00	Q440.00
Esmalte de Poliuretano Kem Enamel Blanco Brillante	1	Q705.00	Q705.00
MacroPoxy 646 PW Epoxy SG White Part A	1	Q1,100.00	Q1,100.00
MacroPoxy 646 PW Epoxy SG Hardener Part B	1	Q1,100.00	Q1,100.00
Pernos 1"	6	Q12.19	Q73.14
Chorro 1"	1	Q49.00	Q49.00
Adaptadores para tanques 1"	4	Q20.00	Q80.00
Interruptor de nivel	2	Q925.86	Q1,851.00
Total			Q9,072.86

Cuadro 290. Cotización del circuito de bombeo propuesto.

Requerimiento	Especificación	Unidad	Material	Cantidad	Costo	Unidad	Costo total
Bomba centrífuga	15.00	HP	Hierro dúctil	2	Q70,675.84	Unidad	Q141,351.68
Tubería	6	pulgadas	Hierro negro	11.20	Q183.01	metro	Q2,049.66
Tubería	4	pulgadas	Hierro negro	0.6	Q108.89	metro	Q65.33
Tubería	3	pulgadas	Hierro negro	0.6	Q77.36	metro	Q46.42
Tubería	5	pulgadas	Hierro negro	144.4	Q139.24	metro	Q20,106.09
Codos 90°	6	pulgadas	Hierro negro	4	Q525.65	Unidad	Q2,102.60
Codos 90°	5	pulgadas	Hierro negro	32	Q350.43	Unidad	Q11,213.76
Codos 45°	5	pulgadas	Hierro negro	4	Q550.93	Unidad	Q2,203.72
Accesorio T	5	pulgadas	Hierro negro	2	Q308.47	Unidad	Q616.94
Unión universal	5	pulgadas	Hierro negro	31	Q462.71	Unidad	Q14,399.54
Válvula de retención	5	pulgadas	Hierro negro	1	Q1,536.15	Unidad	Q1,536.15
válvula de compuerta	5	pulgadas	Hierro negro	2	Q1,006.20	Unidad	Q2,012.40
Reductor campana 6—4	5	pulgadas	Hierro negro	2	Q177.94	Unidad	Q355.88
Expansión campana 3—5	5	pulgadas	Hierro negro	2	Q148.28	Unidad	Q296.56
Manómetro de Bourdoun	-	-	-	4	Q200.00	Unidad	Q800.00
Medidor de flujo	5	pulgadas	-	1	Q10,489.52	Unidad	Q10,489.52
						Total	Q209,646.24

Observaciones:

[1] Se consideró una cantidad de dos por el sistema de la bomba auxiliar que se plantea tener disponible.

[2] Se emplean secciones cortas de tuberías de 4 y 3 pulgadas de diámetro para ajustar las tuberías con el diámetro de succión y descarga de la bomba centrífuga respectivamente. El diámetro principal para la succión es de 6 pulgadas, mientras que para la descarga es de 5 pulgadas.

Cuadro 291. Cotización de la bomba centrífuga requerida para el circuito de bombeo.

Aspecto	Porcentaje	Cantidad	Costo	Costo total
Bomba modelo 3196 3X4-10H Mti		1	Q52,948.00	Q52,948.00
Total ExWork				Q52,948.00
Flete Miami – Guatemala	10.00%			Q5,294.80
Flete Guatemala – Ingenio	8.00%			Q4,235.84
Sub total				Q62,478.64
IVA	12.00%			Q7,497.44
Arancel	0.00%			Q0.00
Total, equipo puesto en Guatemala				Q69,976.08
Otros	1.00%			Q699.76
Total, equipo puesto en el ingenio				Q70,675.84

Observaciones:

[1] El precio de la bomba es de 6832.00 dólares. Se considera un tipo de cambio de 7.75 quetzales por dólar.

Cuadro 292. Cotización de medidor de flujo requerido para el circuito de bombeo.

Aspecto	Porcentaje	Cantidad	Costo	Costo total
Medidor de flujo OMEGA Serie FMG3000		1	Q7,858.40	Q7,858.40
Total, ExWork				Q7,858.40
Flete Miami – Guatemala	10.00%			Q785.84
Flete Guatemala – Ingenio	8.00%			Q628.67
Sub total				Q9,272.91
IVA	12.00%			Q1,112.75
Arancel	0.00%			Q0.00
Total, equipo puesto en Guatemala				Q10,385.66
Otros	1.00%			Q103.86
Total, equipo puesto en el ingenio				Q10,489.52

Observaciones:

[1] El precio del medidor es de 880 euros. Se considera un tipo de cambio de 8.93 quetzales por euro.

Cuadro 293. Cotización para el tanque receptor de agua.

Requerimiento	Cantidad	Costo	Costo total
Láminas de 8x4 pies y grosor de 5/16 de pulgada	3	Q1,218.00	Q3,654.00
Anticorrosivo Kromik Universal HS Metal Primer Mate Gris	1	Q440.00	Q440.00
Esmalte de Poliuretano Kem Enamel Blanco Brillante	1	Q705.00	Q705.00
MacroPoxy 646 PW Epoxy SG White Part A	1	Q1,100.00	Q1,100.00
MacroPoxy 646 PW Epoxy SG Hardener Part B	1	Q1,100.00	Q1,100.00
Pernos L 1"	6	Q12.19	Q73.14
Chorro 1"	1	Q49.00	Q49.00
Adaptadores para tanques 1"	5	Q20.00	Q100.00
Interruptores de nivel	2	Q925.86	Q1,851.72
Total			Q9,072.86

Cuadro 294. Cotización de interruptores de nivel requeridos para el tanque receptor.

Aspecto	Porcentaje	Cantidad	Costo	Costo total
Interruptor de nivel OMEGA ® LVK-90		2	Q346.81	Q693.63
Total, ExWork				Q693.63
Flete Miami - Guatemala	10.00%			Q69.36
Flete Guatemala - Ingenio	8.00%			Q55.49
Sub total				Q818.48
IVA	12.00%			Q98.22
Arancel	0.00%			Q0.00
Total, equipo puesto en Guatemala				Q916.69
Otros	1.00%			Q9.17
Total, equipo puesto en el ingenio				Q925.86

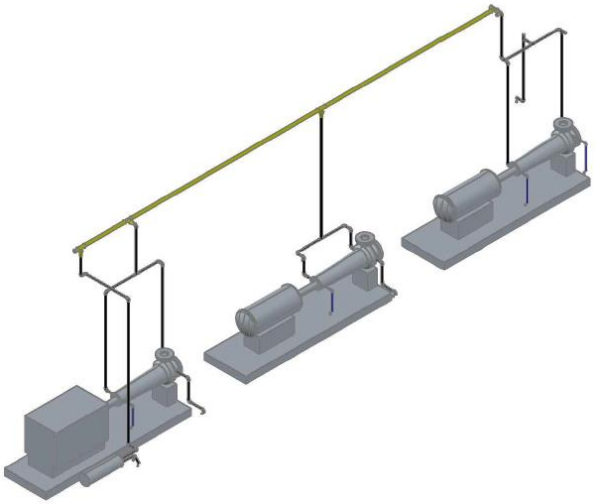
Observaciones:

[1] El precio del interruptor es de 44.75 dólares. Se considera un tipo de cambio de 7.75 quetzales por dólar.

3. Figuras generales sobre la propuesta de enfriamiento en serie.

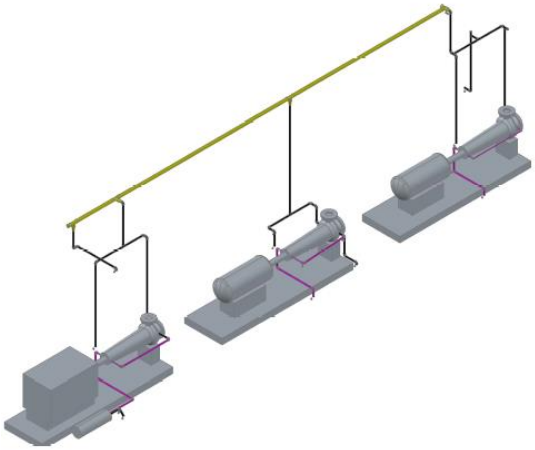
Para visualizar de mejor manera la propuesta de enfriamiento en serie de los equipos seleccionados, se presentan figuras de la situación actual y bajo la nueva propuesta de enfriamiento para las bombas de inyección de agua a calderas. Para los ventiladores inducidos de la caldera 5 y las unidades hidráulicas de los turbogeneradores se sigues la misma metodología.

Figura 80. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2.
Sistema de enfriamiento actual para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2.



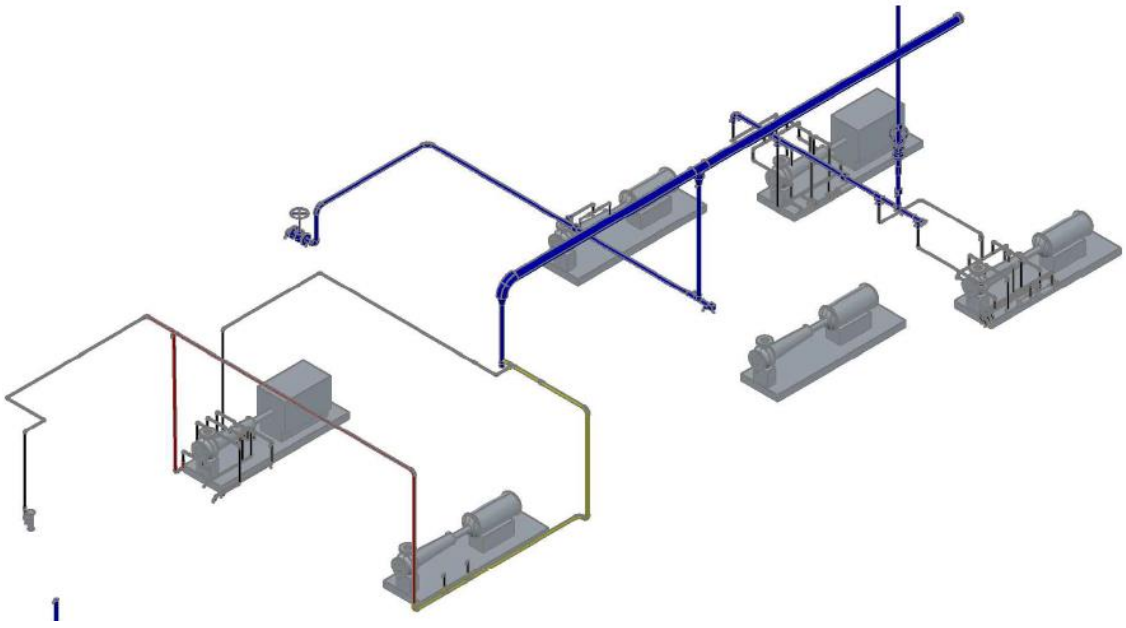
Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 81. Sistema en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2.
Sistema de enfriamiento en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 1 y 2.



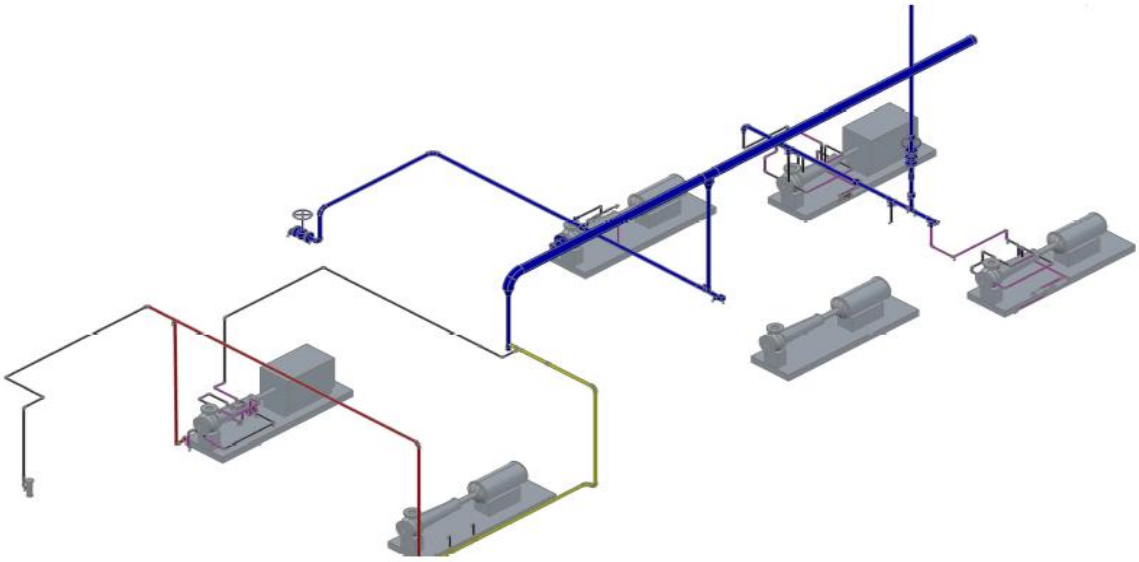
Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 82. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7.
Sistema de enfriamiento actual para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7.



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

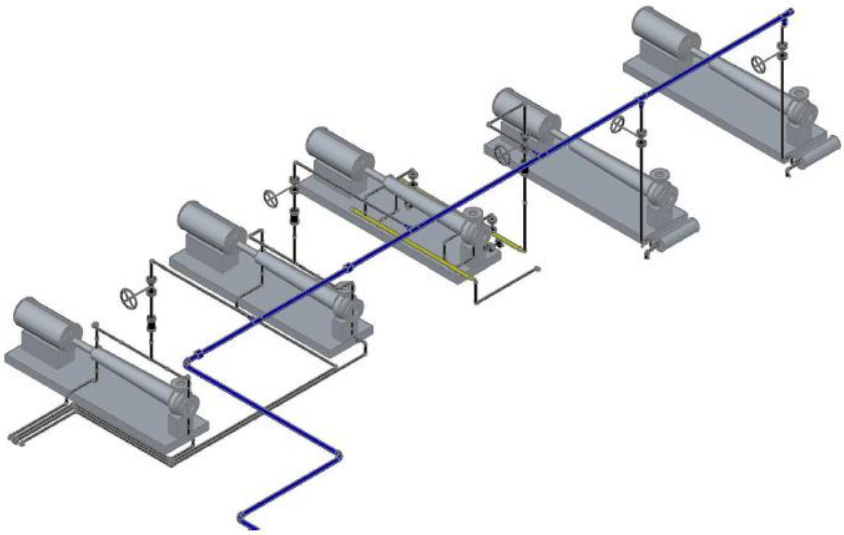
Figura 83. Sistema en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7.
Sistema de enfriamiento en serie para las bombas de inyección de agua a calderas 4 y 7.



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 84. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 5 y 6.

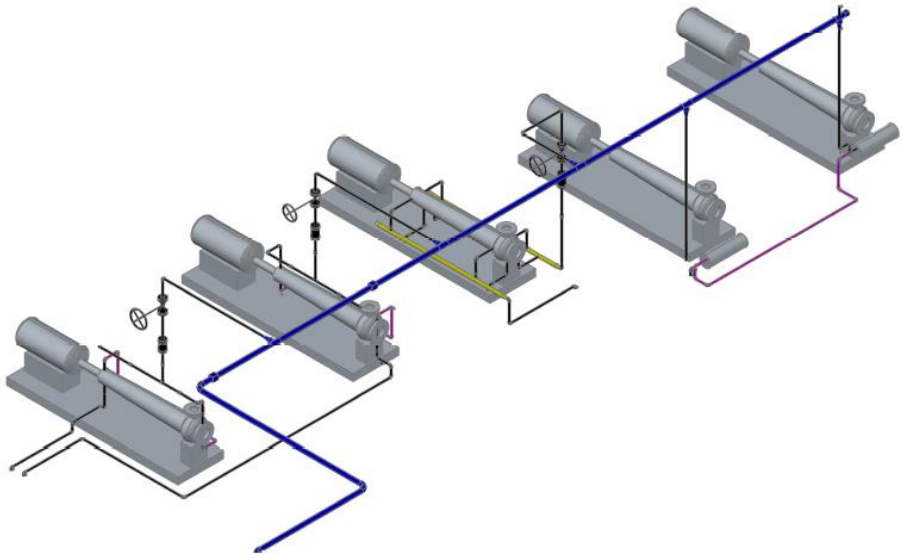
Sistema de enfriamiento actual para las bombas de inyección de agua a calderas 5 y 6



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 85. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a calderas 5 y 6

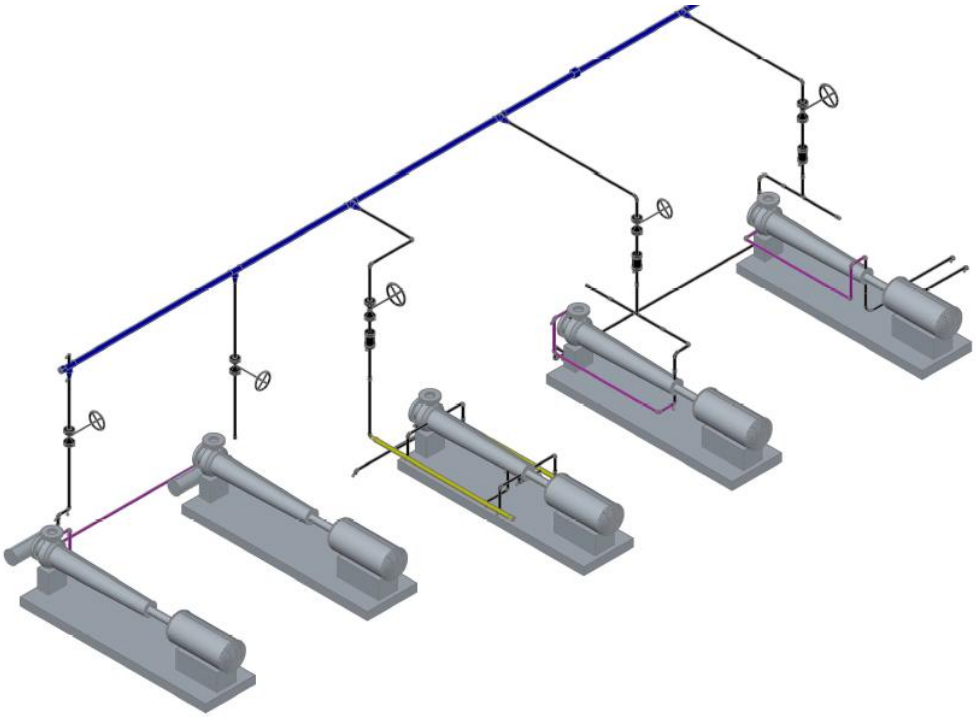
Vista frontal.



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

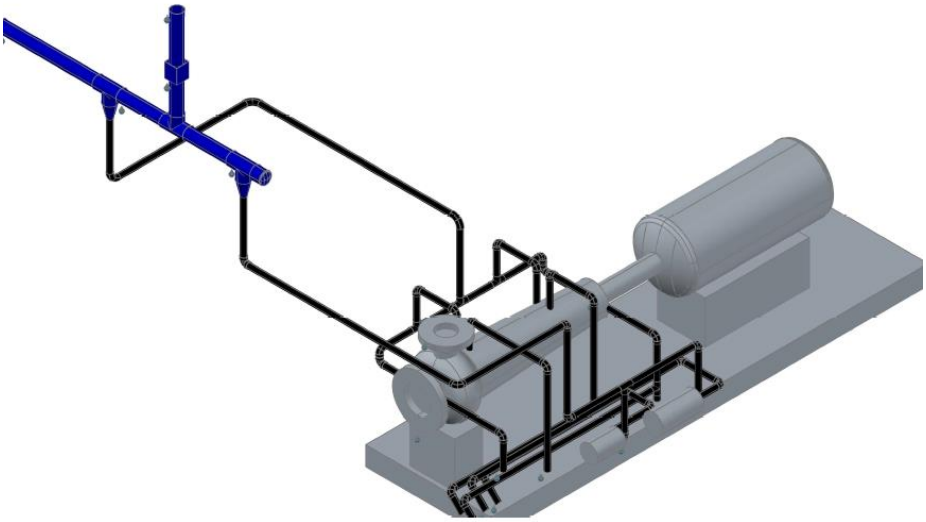
Figura 86. Sistema actual para las bombas de inyección de agua a las calderas 5 y 6

Sistema de enfriamiento actual, vista trasera



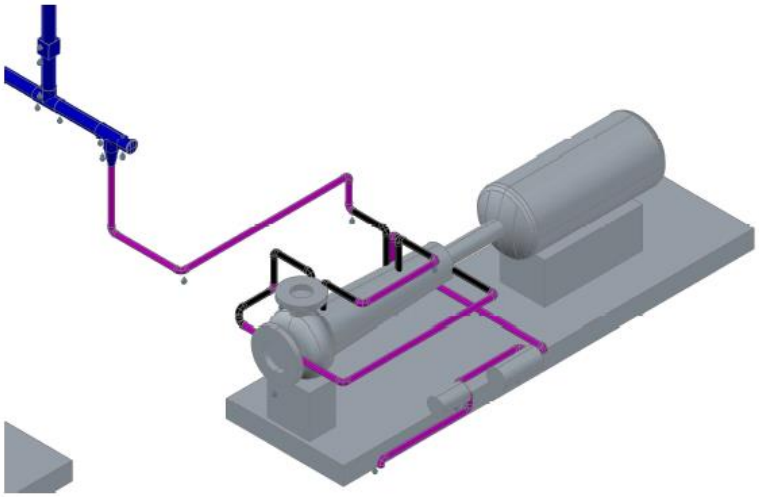
Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 87. Sistema actual para la bomba de inyección de agua 2 a calderas 4 y 7.



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

Figura 88. Sistema en serie para la bomba de inyección de agua 2 a calderas 4 y 7.



Fuente: (Elaboración propia, 2018)

4. Planos generales y diagrama de control e instrumentación

A continuación, se adjuntan los distintos diagramas complementarios para proporcionar una mejor visualización de la propuesta de recirculación. Se incluye un diagrama de control e instrumentación (P&ID) para el circuito de bombeo hacia la torre. Por último, se incluyen las cotizaciones dadas por los proveedores de algunos de los productos cotizados. En el caso de la instrumentación (medidor de flujo e interruptores de nivel) las cotizaciones se pueden hallar en la página web de OMEGA instruments.

Figura 89. Esquema de los equipos dentro del área de calderas y cogeneración del ingenio

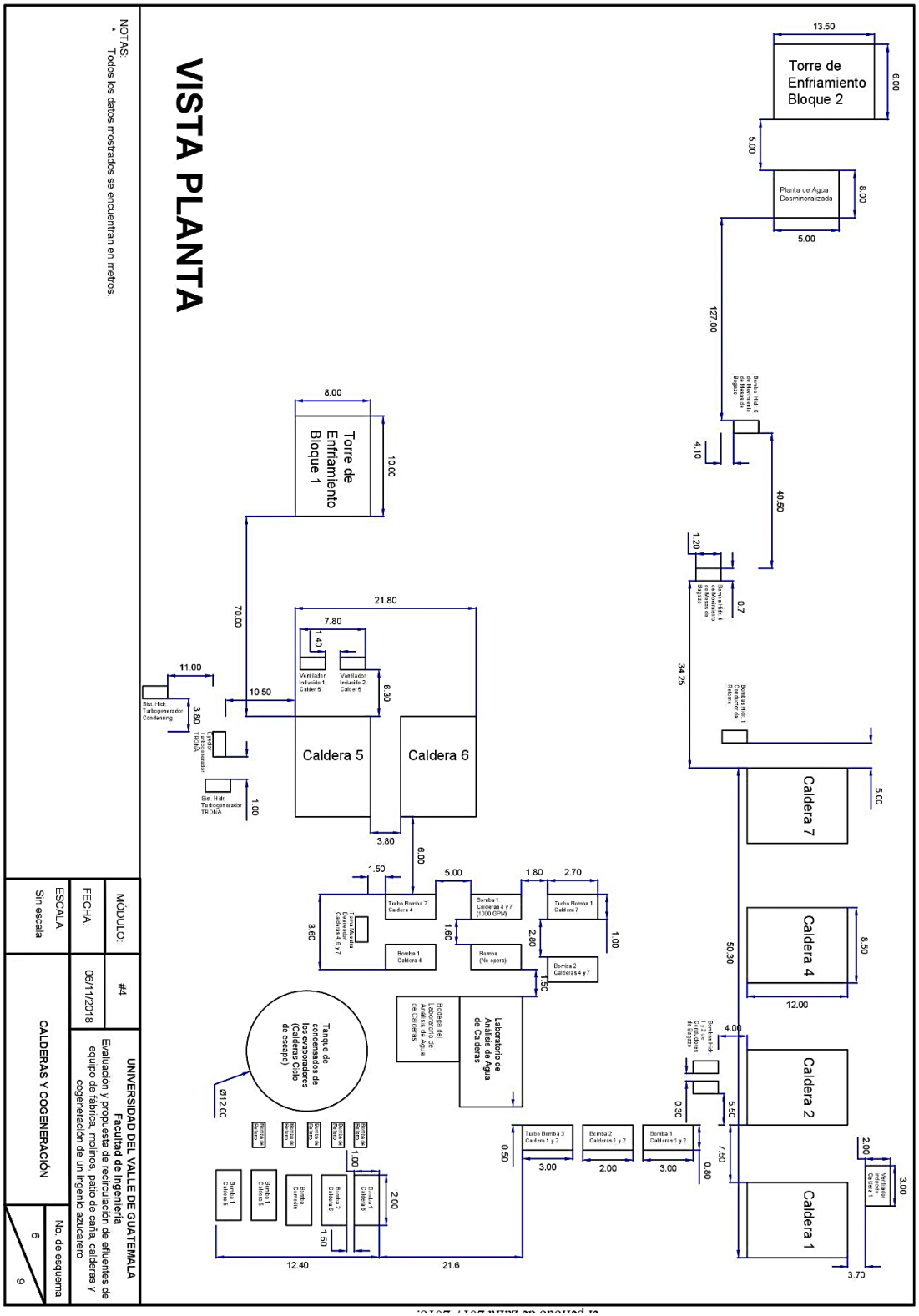


Figura 90. Esquema de puntos de enfriamiento y purgado por equipo en calderas

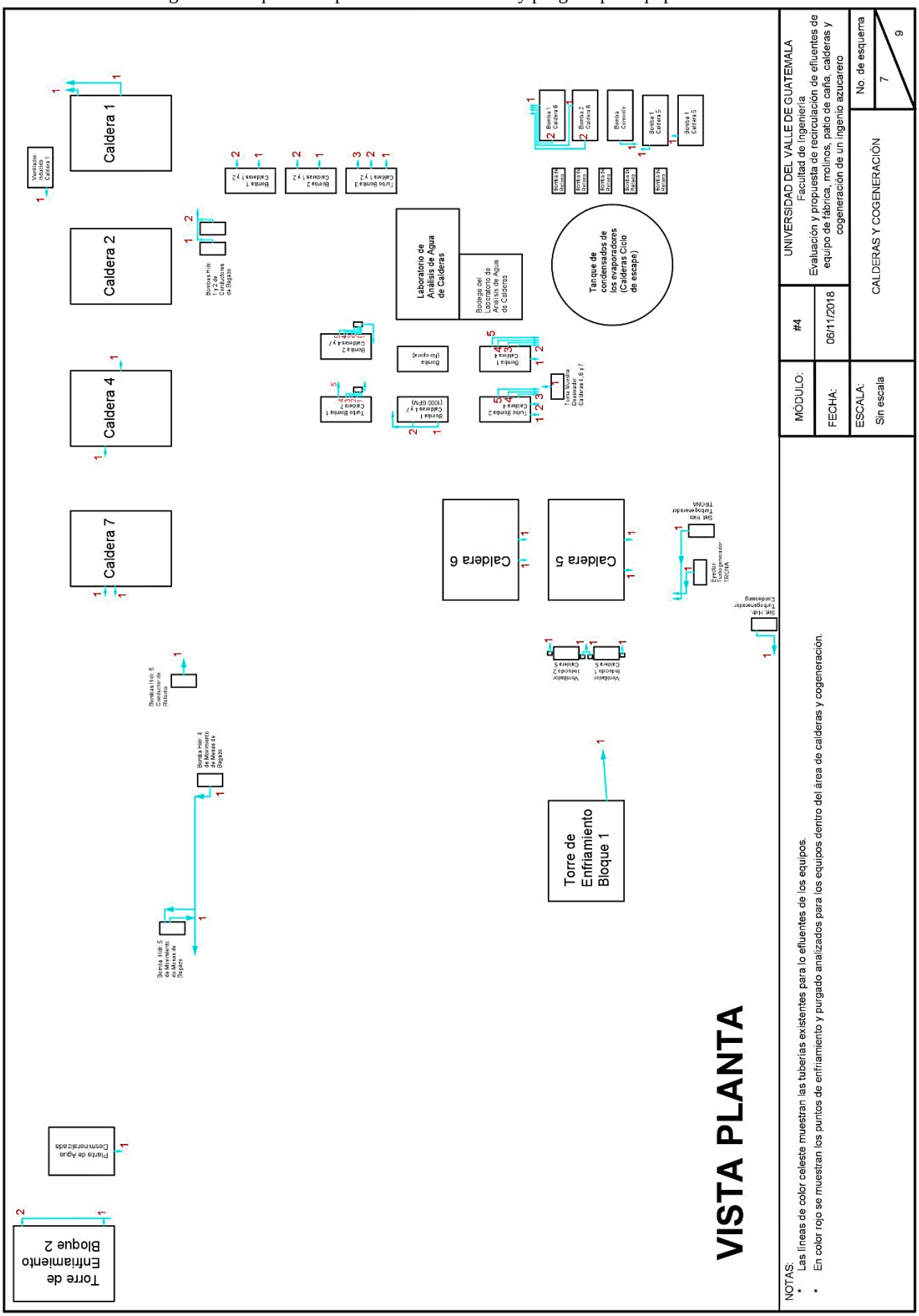


Figura 91. Distribución de efluentes de enfriamiento y purgado por canales en calderas

Esquema del sistema de distribución de efluentes de agua de enfriamiento y purgado por canales en los equipos de calderas y cogeneración para el período de zafra 2017-2018.

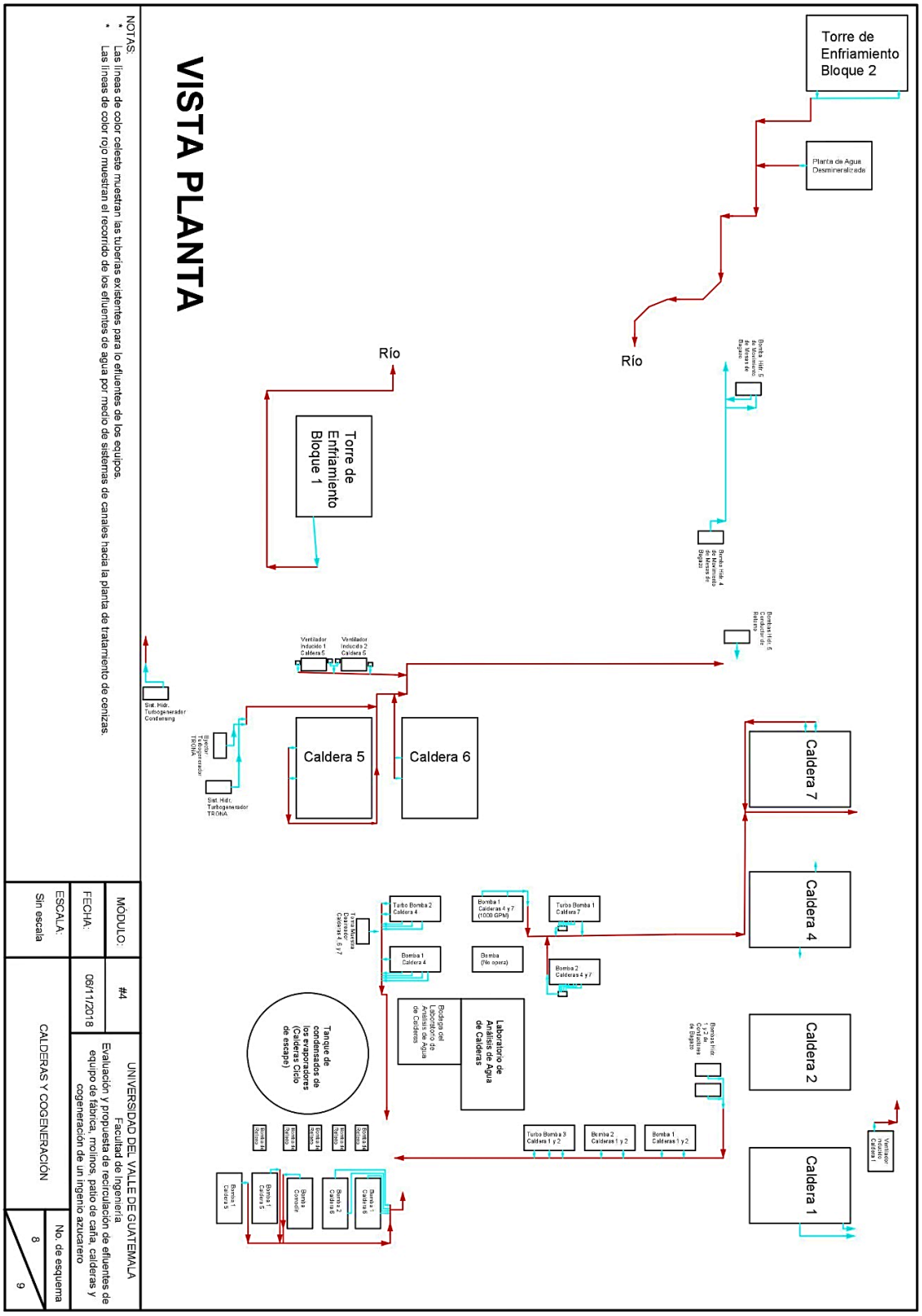
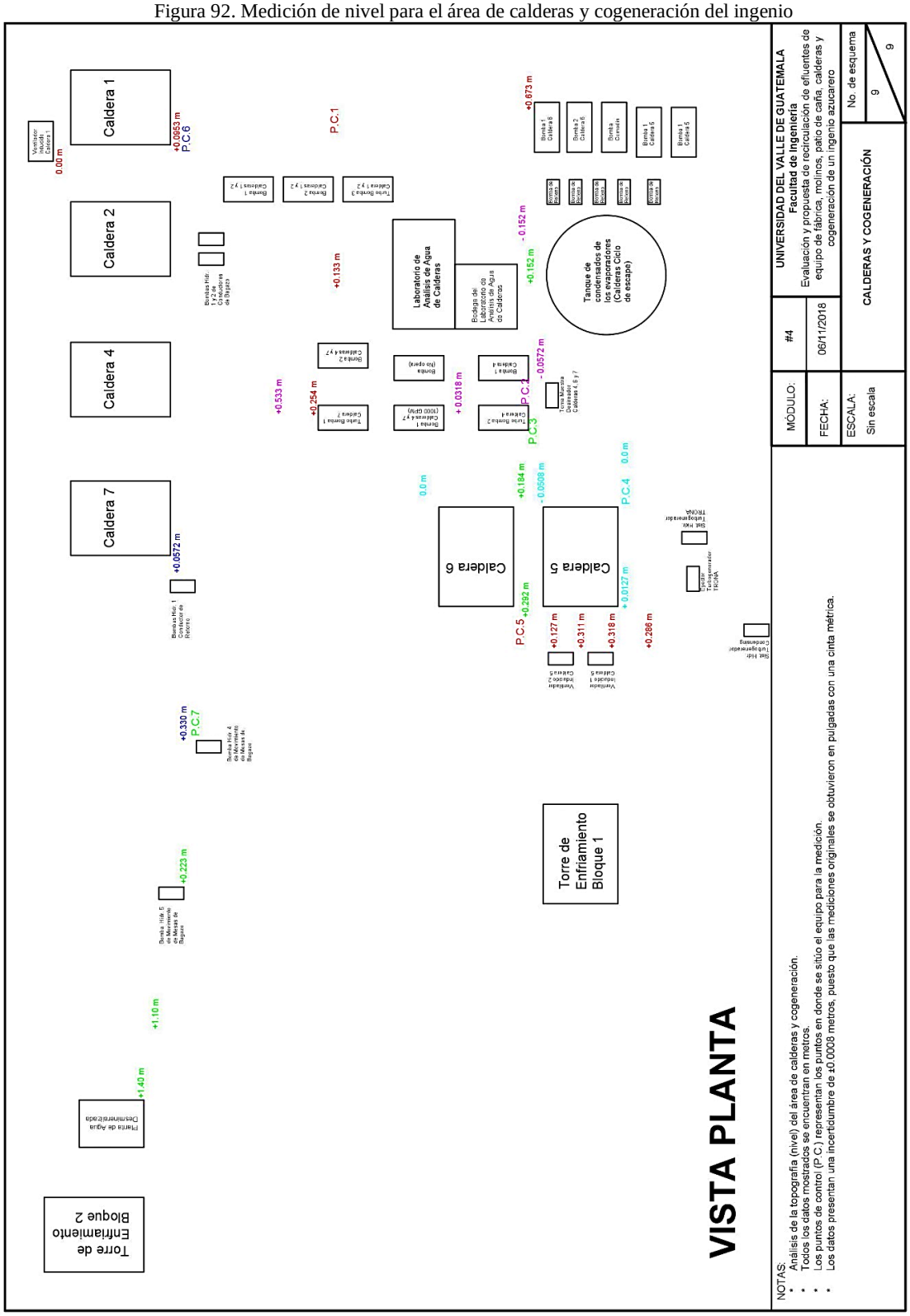


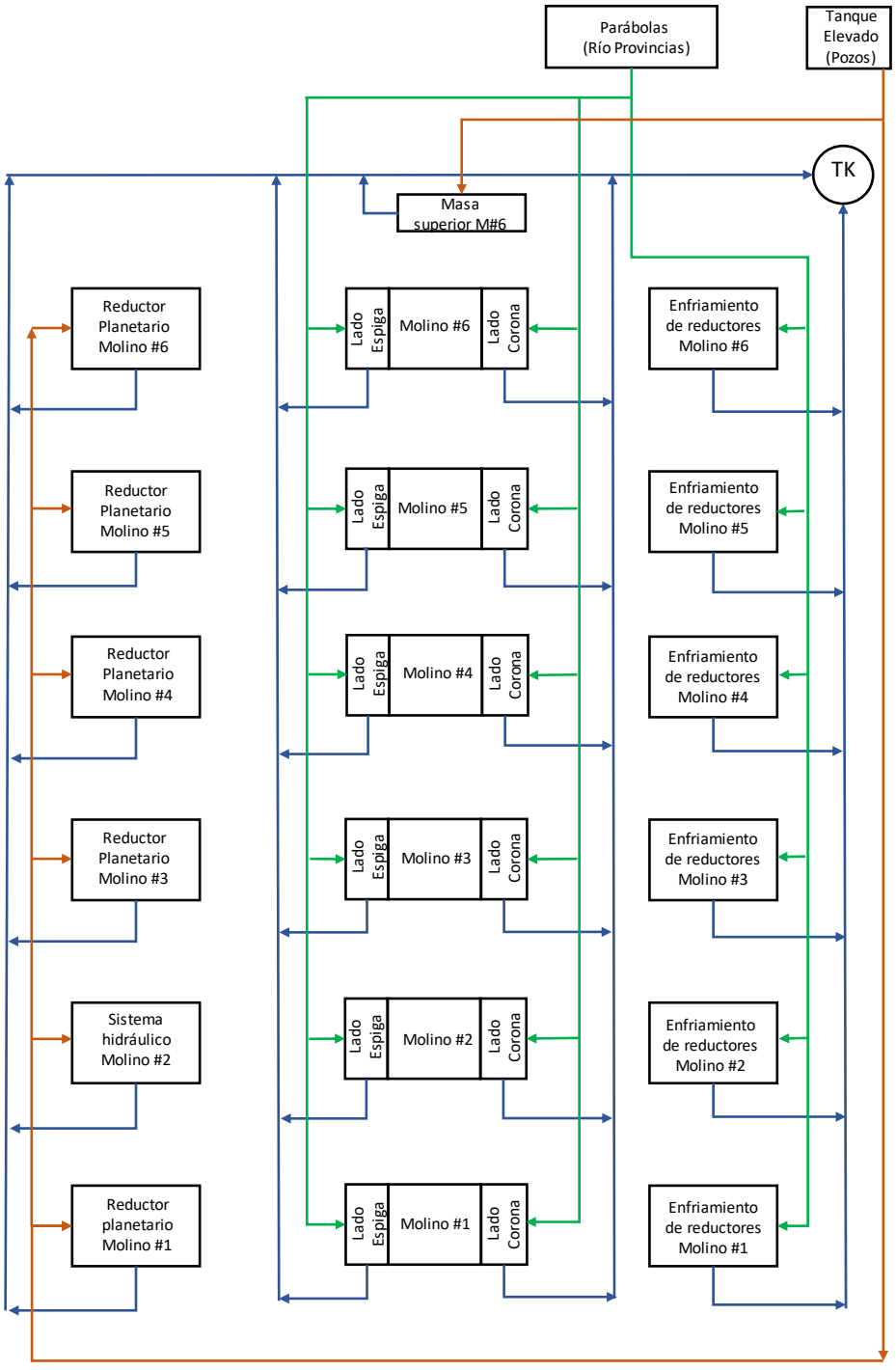
Figura 92. Medición de nivel para el área de calderas y cogeneración del ingenio



E. Módulo 5: Área de molinos tándem “A”

1. Datos Originales

Figura 93. Diagrama de bloques que representa las entradas y salidas de agua



a. Volúmenes y tiempos medidos en cada efluente

Cuadro 295. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	30.0	45.61	31.00	6.0	10.98
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	30.0	45.81	31.00	7.0	13.31
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	30.0	46.93	31.00	6.5	11.36
Molino 1 -Reductor de media	29.00	30.0	27.96	31.00	6.0	12.36
Molino 1 -Reductor de media	29.00	15.0	13.56	31.00	7.0	15.87
Molino 1 -Reductor de media	29.00	15.0	13.77	31.00	6.0	12.98
Molino 1- Reductor de baja 1	29.00	7.0	20.19	31.00	5.0	14.42
Molino 1- Reductor de baja 1	29.00	8.0	23.06	31.00	5.8	16.27
Molino 1- Reductor de baja 1	29.00	8.0	22.26	31.00	5.0	14.63
Molino 1 -Reductor de baja 2	29.00	8.0	17.60	30.00	5.5	11.45
Molino 1 -Reductor de baja 2	29.00	7.8	16.14	30.00	7.0	14.88
Molino 1 -Reductor de baja 2	29.00	8.0	17.24	30.00	6.5	13.46
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	7.0	21.08	30.00	7.8	21.28
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	8.0	22.56	30.00	7.0	19.24
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	7.0	21.12	30.00	7.0	17.21
Molino 2 -Reductor de media 2	28.00	7.5	28.23	30.00	6.6	21.38
Molino 2 -Reductor de media 2	28.00	8.0	30.89	30.00	6.9	24.86
Molino 2 -Reductor de media 2	28.00	7.0	26.97	30.00	5.0	17.22
Molino 2 -Reductor de alta	29.00	9.0	14.87	31.00	7.0	11.94
Molino 2 -Reductor de alta	29.00	9.0	14.70	31.00	7.0	11.51
Molino 2 -Reductor de alta	29.00	10.5	16.71	31.00	8.0	13.36
Molino 3 -Reductor de alta	30.00	15.0	15.28	32.00	8.9	8.95
Molino 3 -Reductor de alta	30.00	15.0	15.18	32.00	9.0	9.82
Molino 3 -Reductor de alta	30.00	15.0	15.21	32.00	11.0	11.40
Molino 3 -Reductor de media	28.00	9.5	8.29	30.00	7.5	7.62
Molino 3 -Reductor de media	28.00	9.3	8.02	30.00	6.8	6.94
Molino 3 -Reductor de media	28.00	9.8	7.51	30.00	7.0	6.46

Cuadro 296. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	6.0	9.59	31.00	4.6	9.06
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	6.0	10.62	31.00	5.0	9.60
Molino 1 -Reductor de Alta	29.00	6.8	11.50	31.00	5.2	10.61
Molino 1 -Reductor de media	30.00	7.0	14.43	31.00	4.0	11.41
Molino 1 -Reductor de media	30.00	7.0	15.06	31.00	5.2	13.04
Molino 1 -Reductor de media	30.00	7.5	15.81	31.00	6.5	16.31
Molino 1- Reductor de baja 1	28.50	7.5	20.12	32.00	4.5	11.45
Molino 1- Reductor de baja 1	28.50	5.9	16.43	32.00	4.8	11.74
Molino 1- Reductor de baja 1	28.50	6.8	17.31	32.00	4.6	12.06
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	5.9	11.30	31.00	5.5	10.21
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	5.5	10.11	31.00	5.0	9.63
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	5.0	9.59	31.00	5.5	10.56
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	6.1	15.45	30.00	6.5	17.12
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	5.5	14.41	30.00	5.9	16.11
Molino 2 -Reductor de media 1	28.00	6.2	15.51	30.00	6.4	16.73
Molino 2 -Reductor de media 2	29.00	5.8	19.00	31.00	6.2	24.36
Molino 2 -Reductor de media 2	29.00	6.0	20.29	31.00	6.0	22.26
Molino 2 -Reductor de media 2	29.00	6.8	22.79	31.00	5.9	22.88
Molino 2 -Reductor de alta	30.00	9.5	14.74	33.00	5.0	8.19
Molino 2 -Reductor de alta	30.00	7.5	11.69	33.00	7.0	11.43
Molino 2 -Reductor de alta	30.00	8.0	12.87	33.00	6.5	10.90
Molino 3 -Reductor de alta	29.00	8.5	11.01	32.00	6.9	8.91
Molino 3 -Reductor de alta	29.00	9.9	13.10	32.00	5.5	7.35
Molino 3 -Reductor de alta	29.00	9.0	12.25	32.00	6.8	9.20
Molino 3 -Reductor de media	30.00	9.0	9.63	30.00	7.0	8.14
Molino 3 -Reductor de media	30.00	8.9	10.49	30.00	8.2	9.50
Molino 3 -Reductor de media	30.00	9.0	9.03	30.00	9.0	9.88

Cuadro 297. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 1, 2 y 3, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 1 -Reductor de Alta	28.00	6.2	11.13	29.50	7.4	13.56
Molino 1 -Reductor de Alta	28.00	4.5	8.92	29.50	5.0	9.11
Molino 1 -Reductor de Alta	28.00	5.9	10.77	29.50	6.3	11.66
Molino 1 -Reductor de media	27.00	6.2	8.24	29.00	6.8	8.81
Molino 1 -Reductor de media	27.00	6.9	8.74	29.00	9.2	12.31
Molino 1 -Reductor de media	27.00	7.5	10.01	29.00	6.5	9.00
Molino 1- Reductor de baja 1	28.00	5.5	14.37	28.50	4.0	10.60
Molino 1- Reductor de baja 1	28.00	3.9	10.81	28.50	4.3	12.00
Molino 1- Reductor de baja 1	28.00	5.5	15.20	28.50	4.1	10.92
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	3.5	12.06	29.00	5.0	17.07
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	4.0	13.31	29.00	5.0	16.54
Molino 1 -Reductor de baja 2	28.00	3.0	10.19	29.00	5.0	16.72
Molino 2 -Reductor de media 1	27.00	5.0	14.46	29.00	5.0	13.34
Molino 2 -Reductor de media 1	27.00	5.2	14.96	29.00	5.4	15.12
Molino 2 -Reductor de media 1	27.00	5.0	14.63	29.00	5.9	15.56
Molino 2 -Reductor de media 2	27.00	5.8	18.32	28.50	5.2	17.36
Molino 2 -Reductor de media 2	27.00	3.8	12.64	28.50	4.5	14.62
Molino 2 -Reductor de media 2	27.00	4.0	13.32	28.50	5.0	16.17
Molino 2 -Reductor de alta	28.00	6.5	9.86	30.00	7.0	10.86
Molino 2 -Reductor de alta	28.00	5.2	8.17	30.00	7.2	10.92
Molino 2 -Reductor de alta	28.00	5.8	8.88	30.00	5.2	8.19
Molino 3 -Reductor de alta	27.00	7.0	7.62	28.00	7.5	7.63
Molino 3 -Reductor de alta	27.00	5.2	5.66	28.00	7.6	7.94
Molino 3 -Reductor de alta	27.00	4.9	5.16	28.00	8.2	8.84
Molino 3 -Reductor de media	29.00	4.0	6.96	30.50	4.9	8.51
Molino 3 -Reductor de media	29.00	5.2	9.24	30.50	5.1	9.32
Molino 3 -Reductor de media	29.00	5.5	9.43	30.50	5.1	9.24

Cuadro 298. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 4 -Reductor de alta	29.00	8.0	8.68	32.00	6.5	7.32
Molino 4 -Reductor de alta	29.00	8.0	9.38	32.00	7.0	7.94
Molino 4 -Reductor de alta	29.00	7.8	8.65	32.00	6.5	6.64
Molino 4-Reductor de media	28.00	8.0	7.52	31.00	6.8	6.19
Molino 4-Reductor de media	28.00	8.0	7.63	31.00	7.0	6.70
Molino 4-Reductor de media	28.00	8.0	7.68	31.00	7.0	6.52
Molino 5 -Reductor de media 2	28.00	6.0	22.78	30.00	5.5	18.90
Molino 5 -Reductor de media 2	28.00	5.8	21.29	30.00	4.8	16.94
Molino 5 -Reductor de media 2	28.00	6.0	22.52	30.00	5.0	16.54
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	4.0	13.98	30.00	5.0	16.21
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	5.0	18.49	30.00	6.0	15.94
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	6.0	19.04	30.00	4.0	15.51
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	7.0	9.98	31.00	6.0	8.96
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	7.0	9.68	31.00	7.5	10.16
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	6.0	8.63	31.00	5.8	7.91
Molino 6 -Reductor planetario media	30.00	8.0	15.36	31.00	6.0	10.40
Molino 6 -Reductor planetario media	30.00	7.8	13.82	31.00	7.5	13.99
Molino 6 -Reductor planetario media	30.00	8.5	15.93	31.00	5.8	10.52
Molino 6 -Reductor planetario alta	30.00	10.0	14.24	31.00	8.5	10.61
Molino 6 -Reductor planetario alta	30.00	10.0	14.63	31.00	8.0	11.28
Molino 6 -Reductor planetario alta	30.00	10.0	13.87	31.00	8.0	11.01

Cuadro 299. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 4 -Reductor de alta	30.00	7.0	8.50	33.00	6.5	9.20
Molino 4 -Reductor de alta	30.00	7.0	9.15	33.00	6.8	9.24
Molino 4 -Reductor de alta	30.00	8.0	10.58	33.00	6.8	9.91
Molino 4-Reductor de media	29.00	7.5	9.22	31.00	6.0	8.28
Molino 4-Reductor de media	29.00	7.8	9.32	31.00	6.5	9.25
Molino 4-Reductor de media	29.00	7.4	8.92	31.00	6.2	8.30
Molino 5 -Reductor de media 2	29.50	6.5	16.64	32.00	5.5	15.24
Molino 5 -Reductor de media 2	29.50	7.0	18.62	32.00	4.9	13.77
Molino 5 -Reductor de media 2	29.50	7.0	18.51	32.00	5.5	15.27
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	5.0	13.20	31.00	5.0	12.18
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	6.5	16.40	31.00	6.0	15.13
Molino 5 -Reductor de media 1	28.00	8.0	18.16	31.00	5.8	14.22
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	8.0	6.72	33.00	6.5	5.46
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	6.9	5.80	33.00	6.0	5.24
Molino 5 -Reductor de alta	28.00	6.7	5.44	33.00	6.5	5.63
Molino 6 -Reductor planetario media	31.00	4.5	10.24	33.00	6.5	14.16
Molino 6 -Reductor planetario media	31.00	6.0	12.70	33.00	6.5	14.24
Molino 6 -Reductor planetario media	31.00	6.8	14.43	33.00	6.5	14.13
Molino 6 -Reductor planetario alta	29.00	9.0	12.46	33.00	7.0	10.62
Molino 6 -Reductor planetario alta	29.00	8.0	10.36	33.00	8.0	11.34
Molino 6 -Reductor planetario alta	29.00	7.8	10.14	33.00	8.0	11.70

Cuadro 300. Datos de reductores de alta, media y baja de molinos 4, 5 y 6, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
Molino 4 -Reductor de alta	28.00	3.8	4.44	29.50	6.0	6.17
Molino 4 -Reductor de alta	28.00	5.9	6.01	29.50	6.0	6.54
Molino 4 -Reductor de alta	28.00	5.0	5.20	29.50	6.1	6.65
Molino 4-Reductor de media	26.00	7.1	6.87	28.00	6.5	6.24
Molino 4-Reductor de media	26.00	6.5	6.11	28.00	7.5	6.74
Molino 4-Reductor de media	26.00	6.0	5.70	28.00	7.2	6.95
Molino 5 -Reductor de media 2	27.00	4.0	14.04	28.00	4.0	14.54
Molino 5 -Reductor de media 2	27.00	4.8	16.02	28.00	4.5	16.48
Molino 5 -Reductor de media 2	27.00	4.9	16.04	28.00	4.0	14.51
Molino 5 -Reductor de media 1	27.00	4.8	13.63	28.00	5.0	14.82
Molino 5 -Reductor de media 1	27.00	5.1	15.16	28.00	4.8	14.37
Molino 5 -Reductor de media 1	27.00	4.0	12.15	28.00	4.7	13.92
Molino 5 -Reductor de alta	27.00	5.2	5.42	31.00	4.9	5.10
Molino 5 -Reductor de alta	27.00	7.2	6.82	31.00	5.0	5.56
Molino 5 -Reductor de alta	27.00	6.7	6.47	31.00	3.8	6.17
Molino 6 -Reductor planetario media	29.50	6.8	4.63	35.00	4.8	17.64
Molino 6 -Reductor planetario media	29.50	7.9	5.20	35.00	4.5	15.98
Molino 6 -Reductor planetario media	29.50	7.2	4.68	35.00	4.9	18.56
Molino 6 -Reductor planetario alta	34.00	4.1	15.02	31.00	7.0	4.91
Molino 6 -Reductor planetario alta	34.00	5.0	16.83	31.00	6.1	5.01
Molino 6 -Reductor planetario alta	34.00	5.3	19.08	31.00	7.2	5.12

Cuadro 301. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	24.00	3.0	23.59	27.00	4.0	27.79
4ta maza lado corona	24.00	4.0	28.84	27.00	4.0	25.49
4ta maza lado corona	24.00	4.0	33.22	27.00	4.0	25.78
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	11.60	28.00	5.0	14.16
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	11.70	28.00	5.0	13.68
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	11.50	28.00	5.0	13.32
Maza superior lado corona	24.00	5.0	9.30	27.00	5.0	9.51
Maza superior lado corona	24.00	5.0	8.85	27.00	5.0	9.25
Maza superior lado corona	24.00	5.0	8.99	27.00	5.0	9.00
Maza bagacera lado corona	25.00	5.0	14.49	27.00	5.0	14.46
Maza bagacera lado corona	25.00	5.0	14.28	27.00	5.0	13.93
Maza bagacera lado corona	25.00	5.0	13.98	27.00	5.0	14.31
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	13.80	29.00	5.0	12.18
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	13.62	29.00	5.0	11.66
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	13.04	29.00	5.0	12.29
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	19.60	39.00	5.0	9.02
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	19.66	39.00	5.0	8.33
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	19.92	39.00	5.0	9.70
Maza superior lado espiga	27.00	5.0	10.91	33.50	5.0	19.50
Maza superior lado espiga	27.00	5.0	10.06	33.50	5.0	19.92
Maza superior lado espiga	27.00	5.0	10.50	33.50	5.0	19.61
Maza bagacera lado espiga	27.00	5.0	21.14	27.00	5.0	13.11
Maza bagacera lado espiga	27.00	5.0	20.35	27.00	5.0	13.56
Maza bagacera lado espiga	27.00	5.0	21.35	27.00	5.0	13.98
Reductor planetario 1	31.00	7.0	12.00	33.00	4.0	13.04
Reductor planetario 1	31.00	7.0	12.15	33.00	4.0	15.54
Reductor planetario 1	31.00	6.8	12.10	33.00	4.0	18.10
Reductor planetario 2	29.00	7.0	11.90	31.00	5.0	9.22
Reductor planetario 2	29.00	10.0	16.86	31.00	6.0	10.67
Reductor planetario 2	29.00	6.0	11.47	31.00	5.0	11.93

Cuadro 302. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	29.00	5.0	18.04	30.00	4.0	12.73
4ta maza lado corona	29.00	5.1	17.66	30.00	4.0	12.48
4ta maza lado corona	29.00	4.0	15.20	30.00	4.0	12.57
Maza cañera lado corona	30.00	6.0	18.57	30.00	3.9	10.19
Maza cañera lado corona	30.00	5.1	16.09	30.00	4.0	10.32
Maza cañera lado corona	30.00	5.0	15.73	30.00	4.0	10.10
Maza superior lado corona	29.50	6.0	10.68	30.00	5.0	7.57
Maza superior lado corona	29.50	6.2	11.02	30.00	5.2	8.08
Maza superior lado corona	29.50	7.0	12.55	30.00	5.4	8.20
Maza bagacera lado corona	31.00	5.0	14.15	30.00	5.0	12.49
Maza bagacera lado corona	31.00	5.0	13.68	30.00	5.0	12.88
Maza bagacera lado corona	31.00	5.0	14.28	30.00	5.0	12.73
4ta maza lado espiga	30.50	3.0	6.27	32.00	4.0	9.62
4ta maza lado espiga	30.50	3.0	5.30	32.00	4.0	9.41
4ta maza lado espiga	30.50	3.0	6.22	32.00	4.0	9.20
Maza cañera lado espiga	33.00	3.0	6.08	34.00	4.0	8.43
Maza cañera lado espiga	33.00	3.0	6.04	34.00	4.0	8.34
Maza cañera lado espiga	33.00	3.0	6.15	34.00	4.0	8.29
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	6.01	31.00	4.0	8.37
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	6.45	31.00	4.0	8.02
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	6.01	31.00	4.0	8.78
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	8.57	30.00	4.0	11.74
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	9.50	30.00	4.0	12.11
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	8.82	30.00	4.0	11.68
Reductor planetario 1	30.00	5.0	9.14	31.00	5.0	8.50
Reductor planetario 1	30.00	5.5	9.78	31.00	4.2	8.14
Reductor planetario 1	30.00	5.2	9.73	31.00	5.2	8.82
Reductor planetario 2	31.00	6.0	10.26	30.00	4.9	8.82
Reductor planetario 2	31.00	6.3	11.43	30.00	5.0	9.09
Reductor planetario 2	31.00	5.0	8.62	30.00	5.0	9.50

Cuadro 303 Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 1, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	28.00	4.0	20.56	28.00	4.0	16.44
4ta maza lado corona	28.00	4.0	18.47	28.00	4.0	16.08
4ta maza lado corona	28.00	4.0	19.09	28.00	4.0	17.47
Maza cañera lado corona	29.00	4.0	11.17	27.00	4.1	11.57
Maza cañera lado corona	29.00	4.2	12.41	27.00	4.0	11.50
Maza cañera lado corona	29.00	4.0	12.72	27.00	4.0	11.77
Maza superior lado corona	28.00	5.5	12.07	26.00	5.5	11.12
Maza superior lado corona	28.00	5.5	11.98	26.00	5.2	11.17
Maza superior lado corona	28.00	5.2	11.15	26.00	5.0	10.21
Maza bagacera lado corona	28.00	5.0	14.60	27.00	4.0	10.07
Maza bagacera lado corona	28.00	5.0	13.59	27.00	4.0	10.76
Maza bagacera lado corona	28.00	5.0	14.24	27.00	4.0	10.41
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	10.52	30.00	3.8	6.24
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	9.95	30.00	4.0	8.26
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	10.06	30.00	4.0	7.36
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	9.26	29.00	5.8	11.08
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	9.62	29.00	6.0	11.17
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	9.24	29.00	6.2	11.88
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	8.11	29.00	4.5	7.77
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	7.96	29.00	4.0	7.53
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	8.11	29.00	4.0	7.39
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.2	12.12	28.00	4.0	10.66
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.0	12.36	28.00	4.0	10.52
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.0	11.10	28.00	4.0	10.41
Reductor planetario 1	30.00	4.0	7.60	28.00	4.2	8.24
Reductor planetario 1	30.00	4.0	7.88	28.00	5.0	9.56
Reductor planetario 1	30.00	4.0	7.74	28.00	5.8	10.33
Reductor planetario 2	28.00	4.8	7.89	32.00	4.8	7.01
Reductor planetario 2	28.00	5.0	7.99	32.00	5.2	8.35
Reductor planetario 2	28.00	5.2	9.12	32.00	5.0	8.22

Cuadro 304. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	25.00	3.0	10.06	27.00	3.0	9.87
4ta maza lado corona	25.00	4.0	11.65	27.00	3.0	9.31
4ta maza lado corona	25.00	3.0	10.32	27.00	3.0	9.97
Maza cañera lado corona	24.00	3.0	6.01	26.00	3.0	6.47
Maza cañera lado corona	24.00	3.0	7.06	26.00	3.0	6.51
Maza cañera lado corona	24.00	3.0	6.80	26.00	3.0	6.54
Maza superior lado corona	25.00	3.0	4.67	26.00	3.0	5.68
Maza superior lado corona	25.00	3.0	4.62	26.00	3.0	6.01
Maza superior lado corona	25.00	3.0	5.54	26.00	3.0	5.92
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	7.36	27.00	4.0	9.83
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	8.39	27.00	4.0	10.37
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	8.99	27.00	4.0	9.46
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	7.66	27.00	4.0	9.00
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	7.81	27.00	4.0	9.74
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	7.40	27.00	4.0	9.68
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	10.41	30.00	4.0	13.41
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	10.68	30.00	4.0	13.53
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	10.70	30.00	4.0	13.62
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	15.78	28.00	4.0	16.43
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	15.00	28.00	4.0	16.06
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	15.70	28.00	4.0	16.37
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	7.55	26.00	4.0	8.57
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	7.90	26.00	4.0	8.94
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	8.24	26.00	4.0	8.35
Sistema hidráulico	32.00	30.0	16.18	33.00	30.0	16.11
Sistema hidráulico	32.00	30.0	16.62	33.00	30.0	16.68
Sistema hidráulico	32.00	30.0	16.08	33.00	30.0	15.94

Cuadro 305. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	30.00	3.0	11.40	32.00	4.0	13.20
4ta maza lado corona	30.00	3.0	11.39	32.00	4.0	12.93
4ta maza lado corona	30.00	3.0	11.13	32.00	4.0	13.12
Maza cañera lado corona	30.00	7.0	8.98	31.00	6.8	12.02
Maza cañera lado corona	30.00	7.0	8.86	31.00	6.5	11.49
Maza cañera lado corona	30.00	7.5	9.29	31.00	7.0	12.23
Maza superior lado corona	30.00	6.5	8.10	31.00	6.5	8.07
Maza superior lado corona	30.00	6.0	7.58	31.00	7.0	8.82
Maza superior lado corona	30.00	6.0	7.92	31.00	6.8	8.50
Maza bagacera lado corona	31.00	3.0	6.72	32.00	4.0	9.43
Maza bagacera lado corona	31.00	3.0	6.81	32.00	4.0	9.60
Maza bagacera lado corona	31.00	3.0	6.69	32.00	4.0	9.51
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	6.65	31.00	4.0	9.12
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	7.06	31.00	4.0	9.04
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	6.98	31.00	4.0	9.20
Maza cañera lado espiga	30.00	3.0	6.11	32.00	4.5	9.00
Maza cañera lado espiga	30.00	3.0	5.75	32.00	4.0	8.27
Maza cañera lado espiga	30.00	3.0	5.63	32.00	4.0	8.25
Maza superior lado espiga	29.50	3.0	7.68	31.00	4.0	10.24
Maza superior lado espiga	29.50	3.0	7.32	31.00	4.0	9.90
Maza superior lado espiga	29.50	3.0	7.18	31.00	4.0	9.13
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	7.09	30.00	4.0	9.29
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	7.05	30.00	4.0	8.96
Maza bagacera lado espiga	29.00	3.0	6.82	30.00	4.0	9.02
Sistema hidráulico	33.00	30.0	17.69	35.00	30.0	16.10
Sistema hidráulico	33.00	30.0	17.11	35.00	30.0	16.54
Sistema hidráulico	33.00	30.0	17.50	35.00	30.0	16.57

Cuadro 306. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 2, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	27.00	3.0	13.01	31.00	4.0	19.66
4ta maza lado corona	27.00	3.0	13.50	31.00	4.0	18.86
4ta maza lado corona	27.00	3.0	13.49	31.00	4.0	18.83
Maza cañera lado corona	24.50	8.2	11.26	28.00	4.2	6.78
Maza cañera lado corona	24.50	5.2	7.35	28.00	4.0	6.10
Maza cañera lado corona	24.50	6.0	8.34	28.00	4.0	6.43
Maza superior lado corona	26.00	5.0	7.02	29.00	5.2	8.25
Maza superior lado corona	26.00	6.0	8.57	29.00	4.8	7.40
Maza superior lado corona	26.00	5.5	7.75	29.00	5.1	7.93
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	7.33	28.00	4.0	9.81
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	7.16	28.00	4.0	10.11
Maza bagacera lado corona	25.00	3.0	7.22	28.00	4.0	9.80
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	6.43	29.00	4.0	7.96
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	6.29	29.00	4.0	7.78
4ta maza lado espiga	25.00	3.0	6.35	29.00	4.0	8.32
Maza cañera lado espiga	26.00	3.0	5.77	30.00	4.5	7.54
Maza cañera lado espiga	26.00	3.0	5.66	30.00	4.0	7.40
Maza cañera lado espiga	26.00	3.0	5.84	30.00	4.0	7.54
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	6.18	28.00	4.0	8.61
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	6.76	28.00	4.0	8.79
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	6.09	28.00	4.0	8.71
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	6.55	28.00	4.0	7.65
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	6.32	28.00	4.0	8.36
Maza bagacera lado espiga	24.00	3.0	6.22	28.00	4.0	8.44
Sistema hidráulico	30.00	30.0	14.29	29.00	30.0	14.56
Sistema hidráulico	30.00	30.0	14.36	29.00	30.0	14.56
Sistema hidráulico	30.00	30.0	14.37	29.00	30.0	14.59

Cuadro 307. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	24.00	5.0	10.00	28.00	5.0	11.20
4ta maza lado corona	24.00	5.0	9.80	28.00	5.0	9.08
4ta maza lado corona	24.00	5.0	9.50	28.00	5.0	9.37
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	9.60	28.00	5.0	10.06
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	9.81	28.00	5.0	9.41
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	9.36	28.00	5.0	9.81
Maza superior lado corona	25.00	5.0	10.70	29.00	5.0	10.58
Maza superior lado corona	25.00	5.0	10.70	29.00	5.0	10.60
Maza superior lado corona	25.00	5.0	11.13	29.00	5.0	9.85
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	11.13	31.00	5.0	10.76
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	10.67	31.00	5.0	10.08
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	10.27	31.00	5.0	10.53
4ta maza lado espiga	26.00	5.0	12.95	30.00	5.0	9.59
4ta maza lado espiga	26.00	5.0	13.01	30.00	5.0	10.29
4ta maza lado espiga	26.00	5.0	13.41	30.00	5.0	9.61
Maza cañera lado espiga	26.00	5.0	24.52	29.00	5.0	17.96
Maza cañera lado espiga	26.00	5.0	25.50	29.00	5.0	18.13
Maza cañera lado espiga	26.00	5.0	26.34	29.00	5.0	17.95
Maza superior lado espiga	24.00	5.0	12.01	27.00	5.0	8.58
Maza superior lado espiga	24.00	5.0	11.78	27.00	5.0	8.15
Maza superior lado espiga	24.00	5.0	11.54	27.00	5.0	9.06
Maza bagacera lado espiga	25.00	5.0	15.59	28.00	5.0	9.18
Maza bagacera lado espiga	25.00	5.0	14.04	28.00	5.0	9.18
Maza bagacera lado espiga	25.00	5.0	15.98	28.00	5.0	8.98
Reductor Planetario	32.00	7.0	12.68	32.00	5.8	11.12
Reductor Planetario	32.00	6.0	12.41	32.00	4.0	8.01
Reductor Planetario	32.00	6.0	12.32	32.00	6.0	13.07

Cuadro 308. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	28.00	5.0	8.56	29.00	5.2	7.93
4ta maza lado corona	28.00	6.2	9.88	29.00	5.5	7.95
4ta maza lado corona	28.00	6.3	10.25	29.00	5.0	7.30
Maza cañera lado corona	29.00	5.0	9.95	31.00	5.0	9.58
Maza cañera lado corona	29.00	5.0	9.26	31.00	5.1	9.42
Maza cañera lado corona	29.00	6.2	11.48	31.00	5.2	9.95
Maza superior lado corona	32.00	6.0	12.93	32.00	5.0	10.52
Maza superior lado corona	32.00	6.2	12.96	32.00	5.0	10.20
Maza superior lado corona	32.00	6.0	12.25	32.00	5.2	10.52
Maza bagacera lado corona	27.00	5.0	11.13	31.00	5.0	10.76
Maza bagacera lado corona	27.00	5.0	10.67	31.00	5.0	10.08
Maza bagacera lado corona	27.00	5.0	10.27	31.00	5.0	10.53
4ta maza lado espiga	30.00	5.0	12.72	32.50	5.0	12.54
4ta maza lado espiga	30.00	5.0	14.22	32.50	5.0	12.43
4ta maza lado espiga	30.00	5.0	13.13	32.50	5.0	12.21
Maza cañera lado espiga	30.00	4.0	22.00	31.00	5.0	25.68
Maza cañera lado espiga	30.00	4.0	21.31	31.00	5.0	26.04
Maza cañera lado espiga	30.00	4.0	21.57	31.00	4.8	25.32
Maza superior lado espiga	28.00	5.1	11.12	30.00	5.0	11.73
Maza superior lado espiga	28.00	5.0	11.13	30.00	5.2	11.95
Maza superior lado espiga	28.00	5.0	10.78	30.00	5.0	11.41
Maza bagacera lado espiga	28.00	4.8	8.48	30.00	6.0	10.34
Maza bagacera lado espiga	28.00	5.5	10.25	30.00	6.0	10.44
Maza bagacera lado espiga	28.00	5.0	8.74	30.00	6.0	10.42
Reductor Planetario	33.00	3.5	7.20	31.00	6.5	8.32
Reductor Planetario	33.00	5.0	10.40	31.00	7.0	9.35
Reductor Planetario	33.00	3.2	6.29	31.00	6.5	8.96

Cuadro 309. Datos para las chumaceras y reductores planetarios del molino 3, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	28.00	5.0	10.85	27.00	4.8	9.72
4ta maza lado corona	28.00	4.9	10.82	27.00	5.0	9.95
4ta maza lado corona	28.00	5.5	11.15	27.00	4.8	10.00
Maza cañera lado corona	27.00	5.2	8.64	28.00	6.0	11.64
Maza cañera lado corona	27.00	5.0	8.39	28.00	6.2	12.33
Maza cañera lado corona	27.00	5.0	8.50	28.00	5.2	10.53
Maza superior lado corona	28.00	4.5	7.78	27.00	5.8	11.72
Maza superior lado corona	28.00	5.0	8.70	27.00	5.5	11.22
Maza superior lado corona	28.00	5.6	8.45	27.00	5.0	10.92
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	11.13	31.00	5.0	10.76
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	10.67	31.00	5.0	10.08
Maza bagacera lado corona	26.00	5.0	10.27	31.00	5.0	10.53
4ta maza lado espiga	32.00	5.0	19.36	28.00	4.0	15.54
4ta maza lado espiga	32.00	4.0	17.37	28.00	4.0	15.90
4ta maza lado espiga	32.00	4.0	17.87	28.00	4.0	15.38
Maza cañera lado espiga	32.00	4.0	19.59	30.00	4.0	18.93
Maza cañera lado espiga	32.00	4.0	20.75	30.00	3.5	16.58
Maza cañera lado espiga	32.00	4.0	18.86	30.00	4.0	18.93
Maza superior lado espiga	31.00	4.0	17.81	29.00	4.1	24.32
Maza superior lado espiga	31.00	4.0	12.93	29.00	4.0	21.70
Maza superior lado espiga	31.00	4.0	26.45	29.00	4.0	22.42
Maza bagacera lado espiga	28.00	5.0	9.24	28.00	5.8	10.21
Maza bagacera lado espiga	28.00	5.0	9.25	28.00	6.0	10.15
Maza bagacera lado espiga	28.00	5.0	9.07	28.00	5.5	9.83
Reductor Planetario	32.00	7.0	12.68	32.00	5.5	6.27
Reductor Planetario	32.00	6.0	12.41	32.00	6.5	8.02
Reductor Planetario	32.00	6.0	12.32	32.00	5.2	6.54

Cuadro 310. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	24.00	3.0	5.91	27.00	3.0	6.00
4ta maza lado corona	24.00	3.0	5.33	27.00	3.0	5.66
4ta maza lado corona	24.00	3.0	6.01	27.00	3.0	5.67
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	9.51	27.00	4.0	10.81
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	10.42	27.00	4.0	10.67
Maza cañera lado corona	25.00	4.0	9.92	27.00	4.0	9.94
Maza superior lado corona	25.00	3.0	20.21	30.00	3.0	20.28
Maza superior lado corona	25.00	3.0	21.16	30.00	3.0	18.88
Maza superior lado corona	25.00	3.0	22.00	30.00	3.0	19.54
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	11.94	28.00	4.0	16.34
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	12.08	28.00	4.0	15.94
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	12.07	28.00	4.0	16.03
4ta maza lado espiga	27.00	3.0	37.50	30.00	3.0	23.99
4ta maza lado espiga	27.00	3.0	36.79	30.00	3.0	23.43
4ta maza lado espiga	27.00	3.0	47.32	30.00	3.0	23.12
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	14.73	32.00	4.0	18.80
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	14.79	32.00	4.0	18.76
Maza cañera lado espiga	25.00	3.0	13.62	32.00	4.0	19.61
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	13.45	30.00	4.0	17.32
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	13.32	30.00	4.0	17.06
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	13.27	30.00	4.0	17.68
Reductor Planetario	30.00	8.0	7.62	31.00	7.0	6.89
Reductor Planetario	30.00	10.8	10.08	31.00	9.0	8.76
Reductor Planetario	30.00	6.0	5.84	31.00	7.8	7.00

Cuadro 311. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	30.00	3.0	4.70	31.00	4.0	7.16
4ta maza lado corona	30.00	3.0	4.96	31.00	4.0	7.12
4ta maza lado corona	30.00	3.5	5.84	31.00	4.0	6.83
Maza cañera lado corona	31.00	3.0	5.60	33.00	4.0	7.25
Maza cañera lado corona	31.00	3.0	5.38	33.00	4.2	8.04
Maza cañera lado corona	31.00	3.0	5.72	33.00	4.0	7.51
Maza superior lado corona	31.00	3.0	7.04	32.00	4.0	9.53
Maza superior lado corona	31.00	3.0	6.99	32.00	4.0	9.36
Maza superior lado corona	31.00	3.0	6.75	32.00	4.0	9.81
Maza bagacera lado corona	34.00	3.0	12.80	34.00	4.0	22.51
Maza bagacera lado corona	34.00	3.0	13.91	34.00	4.0	23.25
Maza bagacera lado corona	34.00	3.0	13.74	34.00	4.0	22.71
4ta maza lado espiga	31.00	3.0	17.30	33.00	4.0	20.80
4ta maza lado espiga	31.00	3.0	17.74	33.00	4.0	21.27
4ta maza lado espiga	31.00	3.0	16.92	33.00	4.0	20.81
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	12.18	33.00	4.0	15.88
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	12.76	33.00	4.0	15.89
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	13.01	33.00	4.0	15.58
Maza superior lado espiga	32.00	3.0	13.31	32.00	4.0	20.34
Maza superior lado espiga	32.00	3.0	14.87	32.00	4.0	20.74
Maza superior lado espiga	32.00	3.0	14.42	32.00	4.0	20.63
Reductor Planetario	32.00	8.0	5.17	29.00	7.5	4.96
Reductor Planetario	32.00	7.8	4.94	29.00	8.3	5.50
Reductor Planetario	32.00	8.0	5.50	29.00	8.5	5.70

Cuadro 312. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 4, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	25.50	5.0	7.40	28.00	4.0	5.76
4ta maza lado corona	25.50	5.0	6.95	28.00	4.5	6.61
4ta maza lado corona	25.50	5.2	7.48	28.00	4.2	6.50
Maza cañera lado corona	26.00	3.0	6.59	29.00	4.0	9.12
Maza cañera lado corona	26.00	3.0	7.00	29.00	4.0	9.24
Maza cañera lado corona	26.00	3.0	6.74	29.00	4.0	9.32
Maza superior lado corona	27.00	3.0	4.88	30.00	4.0	6.68
Maza superior lado corona	27.00	3.2	5.90	30.00	4.0	7.04
Maza superior lado corona	27.00	3.0	5.20	30.00	4.0	7.32
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	11.94	28.00	4.0	16.34
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	12.08	28.00	4.0	15.94
Maza bagacera lado corona	27.50	3.0	12.07	28.00	4.0	16.03
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	15.64	32.50	4.0	21.36
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	15.90	32.50	4.0	21.34
4ta maza lado espiga	30.00	3.0	15.87	32.50	4.0	21.52
Maza cañera lado espiga	24.00	3.0	15.20	37.00	4.0	21.46
Maza cañera lado espiga	24.00	3.0	15.07	37.00	4.0	21.74
Maza cañera lado espiga	24.00	3.0	14.40	37.00	4.0	21.42
Maza superior lado espiga	28.50	3.0	11.17	31.00	4.0	15.94
Maza superior lado espiga	28.50	3.0	10.79	31.00	4.0	16.33
Maza superior lado espiga	28.50	3.0	11.30	31.00	4.0	16.20
Reductor Planetario	29.00	6.0	3.64	31.00	6.0	3.71
Reductor Planetario	29.00	6.0	3.81	31.00	6.0	3.86
Reductor Planetario	29.00	8.8	5.56	31.00	6.2	4.08

Cuadro 313. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	25.00	5.0	12.17	26.00	5.0	10.94
4ta maza lado corona	25.00	5.0	11.63	26.00	5.0	11.42
4ta maza lado corona	25.00	5.0	11.23	26.00	5.0	11.97
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	10.42	27.00	5.0	10.74
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	10.52	27.00	5.0	10.34
Maza cañera lado corona	25.00	5.0	10.91	27.00	5.0	10.64
Maza superior lado corona	25.00	5.0	9.46	27.00	5.0	9.89
Maza superior lado corona	25.00	5.0	10.85	27.00	5.0	9.66
Maza superior lado corona	25.00	5.0	11.21	27.00	5.0	9.70
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	14.07	28.00	5.0	14.58
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	13.10	28.00	5.0	14.74
4ta maza lado espiga	25.00	5.0	13.62	28.00	5.0	14.80
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	27.95	27.00	5.0	25.69
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	27.30	27.00	5.0	26.56
Maza cañera lado espiga	25.00	5.0	26.67	27.00	5.0	26.38
Maza superior lado espiga	25.00	5.0	14.15	27.00	5.0	14.34
Maza superior lado espiga	25.00	5.0	14.01	27.00	5.0	14.99
Maza superior lado espiga	25.00	5.0	14.31	27.00	5.0	15.28
Maza bagacera lado espiga	25.00	4.0	91.00	28.00	3.5	78.00
Maza bagacera lado espiga	25.00	4.0	93.00	28.00	3.0	75.00
Maza bagacera lado espiga	25.00	4.0	98.00	28.00	3.0	72.00
Reductor Planetario	30.00	7.0	7.44	30.00	6.8	6.97
Reductor Planetario	30.00	7.0	7.54	30.00	7.0	8.01
Reductor Planetario	30.00	6.8	7.08	30.00	8.0	8.38

Cuadro 314. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	29.00	6.0	11.36	31.00	5.0	9.13
4ta maza lado corona	29.00	6.0	10.79	31.00	5.0	9.37
4ta maza lado corona	29.00	6.2	11.04	31.00	5.0	9.58
Maza cañera lado corona	28.00	5.0	10.53	30.50	6.0	12.08
Maza cañera lado corona	28.00	5.0	9.03	30.50	6.0	11.68
Maza cañera lado corona	28.00	6.2	12.82	30.50	6.0	11.57
Maza superior lado corona	29.00	5.0	10.28	30.00	6.6	13.24
Maza superior lado corona	29.00	6.0	11.62	30.00	6.6	13.36
Maza superior lado corona	29.00	6.2	11.75	30.00	6.6	13.75
4ta maza lado espiga	28.00	5.0	15.50	31.50	5.0	14.73
4ta maza lado espiga	28.00	5.0	15.62	31.50	5.0	14.98
4ta maza lado espiga	28.00	5.0	15.40	31.50	5.0	14.74
Maza cañera lado espiga	28.00	5.0	13.75	30.00	5.0	13.92
Maza cañera lado espiga	28.00	5.0	13.78	30.00	5.0	13.48
Maza cañera lado espiga	28.00	5.0	14.20	30.00	5.0	13.30
Maza superior lado espiga	28.00	5.0	13.52	30.50	5.0	13.53
Maza superior lado espiga	28.00	5.0	13.49	30.50	4.9	12.85
Maza superior lado espiga	28.00	5.0	13.51	30.50	5.0	13.08
Maza bagacera lado espiga	30.00	4.0	150.73	31.00	3.0	75.55
Maza bagacera lado espiga	30.00	4.0	149.78	31.00	3.0	75.76
Maza bagacera lado espiga	30.00	4.0	154.16	31.00	3.0	75.81
Reductor Planetario	31.50	6.5	6.87	30.00	7.5	7.76
Reductor Planetario	31.50	6.8	7.31	30.00	9.5	9.76
Reductor Planetario	31.50	6.2	6.53	30.00	8.0	8.68

Cuadro 315. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 5, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	28.00	4.0	26.49	27.00	3.0	18.43
4ta maza lado corona	28.00	4.0	24.60	27.00	3.0	19.12
4ta maza lado corona	28.00	4.0	24.55	27.00	3.0	19.98
Maza cañera lado corona	28.00	5.5	11.74	27.00	5.0	10.75
Maza cañera lado corona	28.00	5.5	12.20	27.00	5.5	11.84
Maza cañera lado corona	28.00	5.0	10.91	27.00	6.0	12.78
Maza superior lado corona	28.00	5.0	10.63	27.00	6.5	12.05
Maza superior lado corona	28.00	5.0	9.65	27.00	6.8	12.63
Maza superior lado corona	28.00	5.0	12.90	27.00	7.0	13.10
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	11.16	27.00	4.0	11.10
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	11.19	27.00	3.5	9.54
4ta maza lado espiga	29.00	4.0	11.29	27.00	4.0	10.58
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	12.01	26.00	4.0	11.46
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	11.67	26.00	4.0	11.35
Maza cañera lado espiga	28.00	4.0	11.64	26.00	3.5	10.18
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	12.06	28.00	4.1	12.45
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	11.62	28.00	4.0	11.58
Maza superior lado espiga	28.00	4.0	11.50	28.00	4.0	11.56
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.0	12.91	28.00	4.0	11.96
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.0	12.60	28.00	4.0	12.22
Maza bagacera lado espiga	27.00	4.0	12.99	28.00	4.0	12.57
Reductor Planetario	29.00	4.8	5.03	32.00	5.0	5.59
Reductor Planetario	29.00	5.2	5.57	32.00	6.2	6.57
Reductor Planetario	29.00	5.5	6.12	32.00	6.5	6.96

Cuadro 316. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	25.00	5.0	11.79	28.00	5.0	11.46
4ta maza lado corona	25.00	5.0	11.23	28.00	5.0	11.52
4ta maza lado corona	25.00	5.0	11.92	28.00	5.0	11.18
Maza cañera lado corona	26.00	5.0	10.01	30.00	5.0	10.24
Maza cañera lado corona	26.00	5.0	10.31	30.00	5.0	10.35
Maza cañera lado corona	26.00	5.0	9.86	30.00	5.0	10.22
Maza superior lado corona	25.00	5.0	9.76	28.00	5.0	9.98
Maza superior lado corona	25.00	5.0	9.80	28.00	5.0	9.59
Maza superior lado corona	25.00	5.0	9.24	28.00	5.0	9.40
4ta maza lado espiga	26.00	3.0	7.41	29.00	3.0	7.54
4ta maza lado espiga	26.00	3.0	7.05	29.00	3.0	7.19
4ta maza lado espiga	26.00	3.0	7.54	29.00	3.0	7.11
Maza cañera lado espiga	28.00	3.0	10.34	36.00	3.0	10.20
Maza cañera lado espiga	28.00	3.0	10.19	36.00	3.0	9.87
Maza cañera lado espiga	28.00	3.0	10.64	36.00	3.0	10.04
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	10.50	28.00	3.0	9.56
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	10.58	28.00	3.0	9.47
Maza superior lado espiga	25.00	3.0	10.12	28.00	3.0	9.75
Reductor maza Cañera	31.00	4.0	12.34	31.00	5.0	13.96
Reductor maza Cañera	31.00	5.0	17.26	31.00	4.0	20.78
Reductor maza Cañera	31.00	3.5	15.50	31.00	4.7	17.47
Reductor maza Bagacera	30.00	6.0	5.51	31.00	8.0	7.27
Reductor maza Bagacera	30.00	9.5	9.50	31.00	7.0	7.36
Reductor maza Bagacera	30.00	8.0	7.19	31.00	8.0	7.90

Cuadro 317. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	30.00	5.0	11.83	31.00	6.0	13.36
4ta maza lado corona	30.00	5.0	10.51	31.00	6.0	13.38
4ta maza lado corona	30.00	5.0	10.90	31.00	6.0	13.16
Maza cañera lado corona	30.00	5.1	11.16	32.00	6.0	12.26
Maza cañera lado corona	30.00	5.0	10.81	32.00	6.0	11.95
Maza cañera lado corona	30.00	5.0	10.31	32.00	6.2	12.98
Maza superior lado corona	29.00	5.0	10.18	31.00	6.3	11.49
Maza superior lado corona	29.00	5.0	8.76	31.00	7.2	13.10
Maza superior lado corona	29.00	5.0	8.89	31.00	6.1	11.00
4ta maza lado espiga	31.00	3.5	6.93	33.00	4.0	8.52
4ta maza lado espiga	31.00	3.0	6.67	33.00	4.0	8.64
4ta maza lado espiga	31.00	3.0	6.31	33.00	4.0	8.51
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	8.82	33.00	4.0	12.00
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	8.11	33.00	4.0	11.81
Maza cañera lado espiga	32.00	3.0	8.80	33.00	4.0	11.37
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	9.28	32.00	4.0	12.59
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	9.48	32.00	4.0	11.63
Maza superior lado espiga	30.00	3.0	9.79	32.00	4.0	12.84
Reductor maza Cañera	33.00	6.5	6.55	30.00	8.2	8.06
Reductor maza Cañera	33.00	9.0	8.74	30.00	8.0	7.34
Reductor maza Cañera	33.00	8.5	8.01	30.00	8.0	8.04
Reductor maza Bagacera	34.00	7.5	11.48	30.00	6.0	8.50
Reductor maza Bagacera	34.00	6.5	9.71	30.00	5.8	10.80
Reductor maza Bagacera	34.00	7.0	10.24	30.00	5.0	10.55

Cuadro 318. Datos de las chumaceras y reductores planetarios del molino 6, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	tiempo (s)
4ta maza lado corona	29.00	4.0	12.34	28.00	5.0	14.69
4ta maza lado corona	29.00	4.0	12.80	28.00	5.0	14.95
4ta maza lado corona	29.00	4.0	13.95	28.00	5.0	14.70
Maza cañera lado corona	28.00	4.0	9.22	27.00	5.2	11.93
Maza cañera lado corona	28.00	4.0	10.14	27.00	5.0	11.31
Maza cañera lado corona	28.00	5.0	10.97	27.00	5.2	11.52
Maza superior lado corona	28.00	4.0	8.93	26.00	5.0	11.01
Maza superior lado corona	28.00	4.0	9.50	26.00	5.5	11.72
Maza superior lado corona	28.00	5.5	11.93	26.00	5.0	10.58
4ta maza lado espiga	28.00	3.2	6.26	30.00	4.0	7.78
4ta maza lado espiga	28.00	3.0	5.74	30.00	4.0	7.37
4ta maza lado espiga	28.00	3.0	5.09	30.00	4.0	7.90
Maza cañera lado espiga	27.00	3.0	7.24	29.00	4.2	10.61
Maza cañera lado espiga	27.00	3.0	7.21	29.00	4.0	10.02
Maza cañera lado espiga	27.00	3.0	7.18	29.00	4.0	10.13
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	7.58	29.00	4.0	10.03
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	7.98	29.00	4.0	9.84
Maza superior lado espiga	26.00	3.0	7.80	29.00	4.0	9.53
Reductor maza Cañera	29.00	5.0	4.88	31.00	7.2	5.67
Reductor maza Cañera	29.00	8.0	5.86	31.00	6.5	5.09
Reductor maza Cañera	29.00	8.0	5.88	31.00	7.0	5.66
Reductor maza Bagacera	29.00	4.2	7.40	32.00	5.5	7.43
Reductor maza Bagacera	29.00	5.2	8.97	32.00	6.0	8.86
Reductor maza Bagacera	29.00	6.8	8.74	32.00	7.0	9.99

b. Propiedades químicas

Cuadro 319. Propiedades químicas en efluentes del tándem "A" de molinos, día 1

Área	Día 1				
	Temperatura (±0.5°C)	pH (±0.01)	Conductividad (±0.1µs/cm)	Salinidad (± 4.5ppm)	Dureza (±0.1mg/L)
Reductores Molino 1	26	8.43	107.10	189.60	6.00
Reductores Molino 2	26	8.25	107.10	188.60	6.00
Reductores Molino 3	26	8.30	108.89	183.90	6.10
Reductores Molino 4	26	8.29	108.89	187.60	6.10
Reductores Molino 5	27	8.33	108.89	178.90	6.10
Reductores Molino 6	30	7.88	127.63	277.00	7.15
Chumacera lado corona M1	25	8.32	107.10	169.20	6.00
Chumacera lado corona M2	25	8.38	107.10	178.40	6.00
Chumacera lado corona M3	24	8.32	107.99	179.10	6.05
Chumacera lado corona M4	26	8.39	107.10	178.30	6.00
Chumacera lado corona M5	25	8.35	107.10	179.10	6.00
Chumacera lado corona Molino 6	26	8.41	108.89	177.50	6.10
Chumacera lado espiga Molino 1	26	8.37	107.10	177.70	6.00
Chumacera lado espiga Molino 2	25	8.31	108.89	175.40	6.10
Chumacera lado espiga Molino 3	26	8.39	107.10	168.00	6.00
Chumacera lado espiga Molino 4	29	8.38	108.88	173.90	6.10
Chumacera lado espiga Molino 5	25	8.42	107.10	177.00	6.00
Chumacera lado espiga Molino 6	26	8.34	105.32	178.50	5.90
Reductor planetario Molino 1	30	7.94	132.09	285.00	7.40
Sistema Hidráulico Molino 2	31	8.04	132.09	286.00	7.40
Reductor planetario Molino 3 y 4	30	7.75	129.41	279.00	7.25
Reductor Planetario Molino 5	30	7.82	128.52	281.00	7.20
Reductor Planetario Molino 6	30	7.88	131.97	279.00	7.39

Cuadro 320. Propiedades químicas en efluentes del tándem “A” de molinos, día 2

Área	Día 2				
	Temperatura (±0.5°C)	pH (±0.01)	Conductividad (±0.1µs/cm)	Salinidad (± 4.5ppm)	Dureza (±0.1mg/L)
Reductores Molino 1	10.00	8.35	181.40	86.40	6.50
Reductores Molino 2	16.67	8.37	178.80	82.60	7.00
Reductores Molino 3	25.00	8.38	180.10	82.80	6.50
Reductores Molino 4	30.77	8.29	179.10	82.60	6.00
Reductores Molino 5	35.00	8.35	179.90	82.80	7.00
Reductores Molino 6	24.00	7.66	283.00	130.00	7.50
Chumacera lado corona M1	17.72	8.47	168.80	77.70	5.00
Chumacera lado corona M2	14.62	8.56	168.00	77.60	7.00
Chumacera lado corona M3	18.46	8.52	168.00	77.60	7.00
Chumacera lado corona M4	13.33	8.53	168.80	77.80	7.50
Chumacera lado corona M5	33.33	8.52	168.30	77.80	6.50
Chumacera lado corona Molino 6	24.00	8.37	178.40	82.30	6.00
Chumacera lado espiga Molino 1	17.50	8.48	170.50	78.30	6.50
Chumacera lado espiga Molino 2	21.11	8.52	162.70	74.90	6.00
Chumacera lado espiga Molino 3	14.55	8.41	169.30	78.10	7.00
Chumacera lado espiga Molino 4	20.00	8.50	170.10	78.00	7.50
Chumacera lado espiga Molino 5	31.82	8.58	169.10	78.40	6.00
Chumacera lado espiga Molino 6	12.00	8.51	169.10	78.20	6.75
Reductor planetario Molino 1	31.82	7.90	288.00	133.00	7.60
Sistema Hidráulico Molino 2	36.36	7.92	292.00	134.00	8.00
Reductor planetario Molino 3 y 4	29.17	7.95	292.00	134.00	8.00
Reductor Planetario Molino 5	15.00	8.52	178.40	82.50	6.50
Reductor Planetario Molino 6	18.33	7.83	286.00	132.00	8.00

Cuadro 321. Pesos para obtención de sólidos suspendidos en los días medidos

Área	Día 1			Día 2		
	Peso papel filtro (±0.0001g)	Peso con muestra (±0.0001g)	Agua de muestra (±0.5 mL)	Peso papel filtro (±0.0001g)	Peso con muestra (±0.0001g)	Agua de muestra (±0.5 mL)
Reductores Molino 1	0.4022	0.4034	120.0	0.4244	0.4267	130.00
Reductores Molino 2	0.4083	0.4093	60.0	0.4124	0.4134	70.00
Reductores Molino 3	0.4035	0.4060	100.0	0.4075	0.4101	90.00
Reductores Molino 4	0.4061	0.4101	130.0	0.4102	0.4142	135.00
Reductores Molino 5	0.3935	0.3970	100.0	0.3974	0.4010	110.00
Reductores Molino 6	0.3970	0.3994	100.0	0.4010	0.4034	85.00
Chumacera lado corona M1	0.3973	0.3987	79.0	0.4013	0.4027	100.00
Chumacera lado corona M2	0.3981	0.4000	130.0	0.4021	0.4040	150.00
Chumacera lado corona M3	0.4011	0.4035	130.0	0.4051	0.4075	100.00
Chumacera lado corona M4	0.4063	0.4083	150.0	0.4104	0.4124	130.00
Chumacera lado corona M5	0.4051	0.4091	120.0	0.4092	0.4132	130.00
Chumacera lado corona Molino 6	0.3970	0.3994	100.0	0.4010	0.4034	85.00
Chumacera lado espiga Molino 1	0.3973	0.3987	80.0	0.4013	0.4027	90.00
Chumacera lado espiga Molino 2	0.3981	0.4000	90.0	0.4021	0.4040	70.00
Chumacera lado espiga Molino 3	0.4154	0.4170	110.0	0.4196	0.4212	100.00
Chumacera lado espiga Molino 4	0.4011	0.4035	120.0	0.4051	0.4075	100.00
Chumacera lado espiga Molino 5	0.3935	0.3970	110.0	0.3974	0.4010	120.00
Chumacera lado espiga Molino 6	0.4022	0.4034	100.0	0.4062	0.4074	110.00
Reductor planetario Molino 1	0.4035	0.407	110.0	0.4075	0.4111	100.00
Sistema Hidráulico Molino 2	0.4061	0.4101	110.0	0.4102	0.4142	130.00
Reductor planetario Molino 3 y 4	0.3935	0.397	120.0	0.3974	0.4010	110.00
Reductor Planetario Molino 5	0.3983	0.3998	100.0	0.4023	0.4038	130.00
Reductor Planetario Molino 6	0.4043	0.4065	120.0	0.4083	0.4106	110.00

Cuadro 322. Propiedades químicas medidas de las fuentes principales (afluentes)

Fuente	Medición	Temperatura (±0.5°C)	pH (±0.01)	Conductividad (±0.1µs/cm)	Salinidad (± 4.5ppm)	Dureza (±0.1mg/L)
Pozos	Día 1	25.00	8.15	302.10	139.00	133.90
	Día 2	25.00	7.90	294.50	134.00	142.80
	Día 3	24.00	8.21	300.85	137.76	140.60
Promedio		24.67	8.09	299.15	136.92	139.10
Desviación		0.58	0.16	4.08	2.60	4.64
Parábolas (río Provincias)	Día 1	20.50	8.45	185.20	85.70	108.88
	Día 2	20.00	8.63	164.70	75.00	107.10
	Día 3	21.50	8.55	180.60	82.40	118.10
Promedio		20.67	8.54	176.83	81.03	111.36
Desviación		0.76	0.09	10.76	5.48	5.90

2. Costos de inversión para propuesta de módulo del tándem “A” de molinos

Cuadro 323. Descripción de accesorios y equipo para la propuesta 1 de recirculación

No.	ITEM	Propuesta 1					
		Cantidad		Costo			Total
1	Tubería de 6" SC 40	69	m	Q 182.96	m	Q	12,624.24
2	Codos de 90° de 6"	10	unidades	Q 180.00	unidad	Q	1,800.00
3	Válvula de compuerta de 6"	4	unidad	Q 2,960.00	unidad	Q	11,840.00
4	Bomba de 3x4x8 Hierro	2	unidades	Q 45,731.70	unidad	Q	113,809.74
5	Reducción concéntrica 6x4 in	2	unidad	Q 136.00	unidad	Q	272.00
6	Reducción concéntrica 6x3 in	2	unidad	Q 145.00	unidad	Q	290.00
7	Válvula de cheque de 6"	4	unidades	Q 3,785.00	unidad	Q	15,140.00
8	Manómetros	4	unidades	Q 594.26	unidad	Q	2,377.04
9	Controles de nivel	2	unidades	Q 336.80	unidad	Q	673.60
	TOTAL					Q	140,345.98

Cuadro 324. Descripción de accesorios y equipo para la propuesta 2 de recirculación

		Propuesta 2					
No.	ITEM	Cantidad		Costo		Total	
1	Tubería de 6" SC 40	65	m	Q 182.96	ft	Q	11,892.40
2	Codos de 90° de 6"	7	unidades	Q 107.14	unidad	Q	749.98
3	Válvula de compuerta de 6"	4	unidad	Q 2,960.00	unidad	Q	11,840.00
4	Bomba de 3x4x8 hierro	2	unidades	Q 45,731.70	unidad	Q	128,007.21
5	Reducción concéntrica 6x4 in	2	unidad	Q 136.00	unidad	Q	272.00
6	Reducción concéntrica 6x3 in	2	unidad	Q 145.00	unidad	Q	290.00
7	Válvula de cheque de 6"	4	unidad	Q 3,785.00	unidad	Q	15,140.00
8	Manómetro	2	unidades	Q 594.26	unidad	Q	1,188.52
9	Controles de nivel	2	unidades	Q 336.80	unidad	Q	673.60
		Total				Q	152,761.59

3. Vistas generales

Figura 94. Vista general del primer nivel en el área del tándem “A”

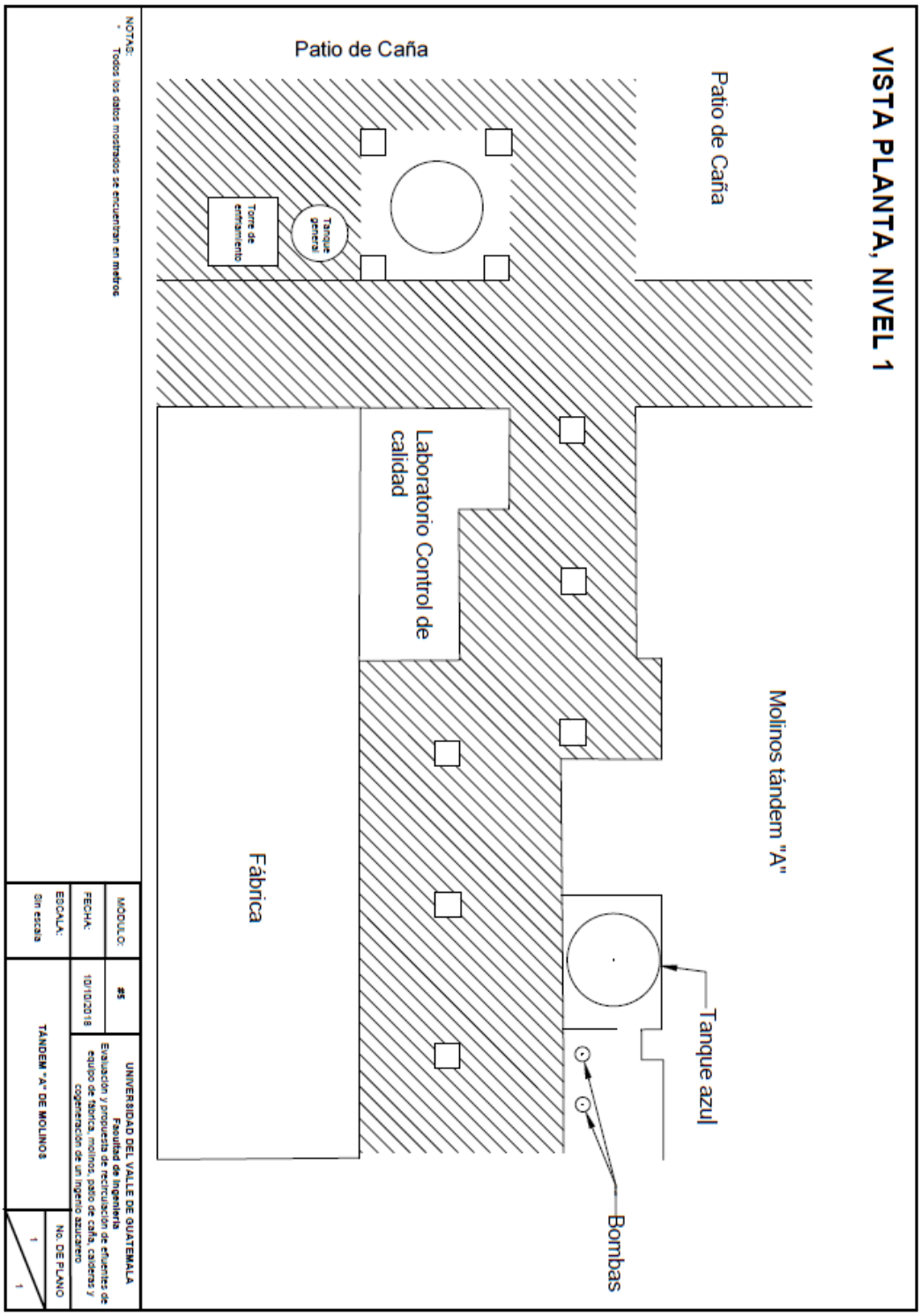


Figura 95. Propuesta de recirculación vía aérea, P&ID

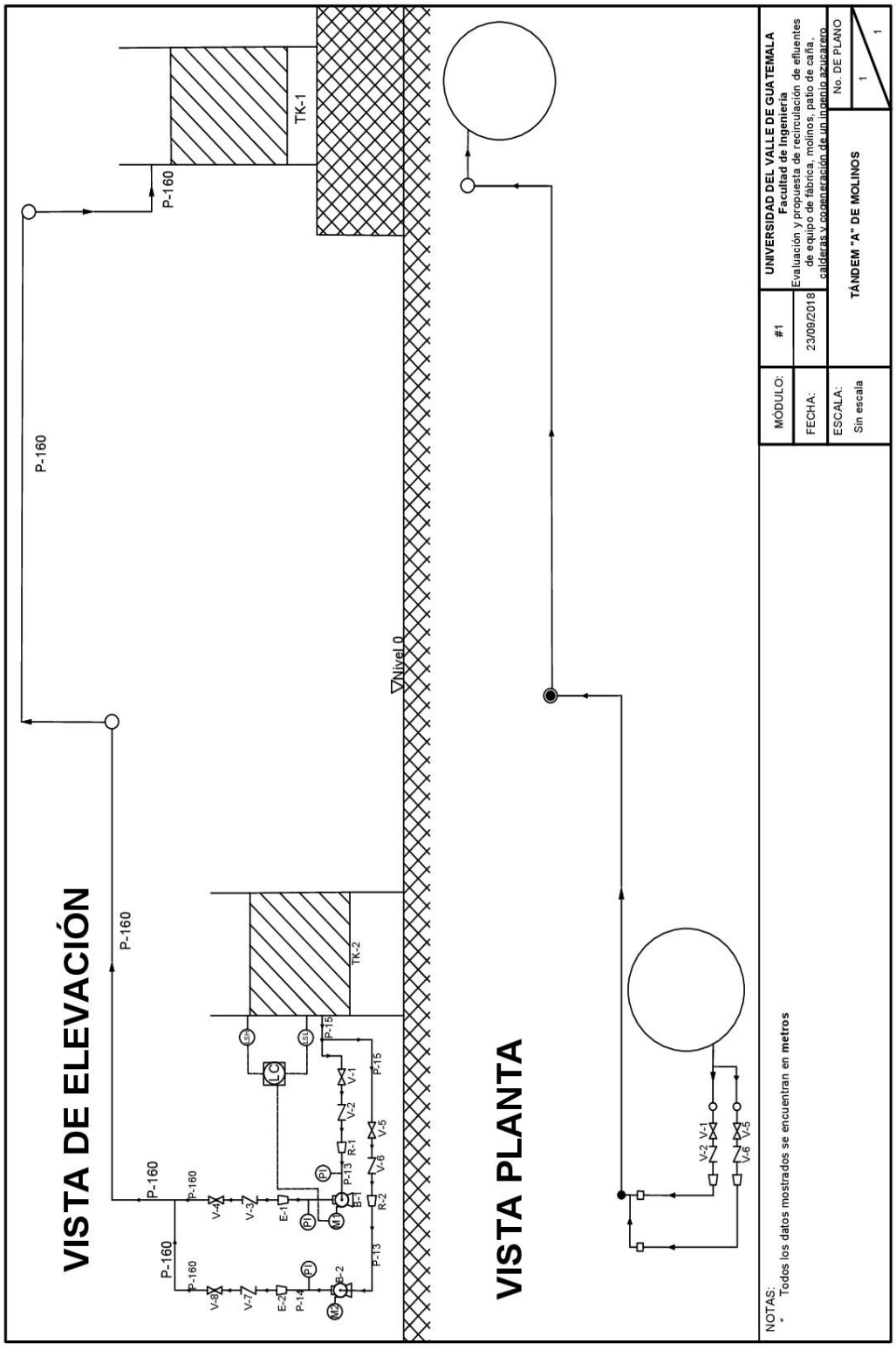


Figura 96. Plano propuesta de recirculación 1 con acotamiento de tuberías

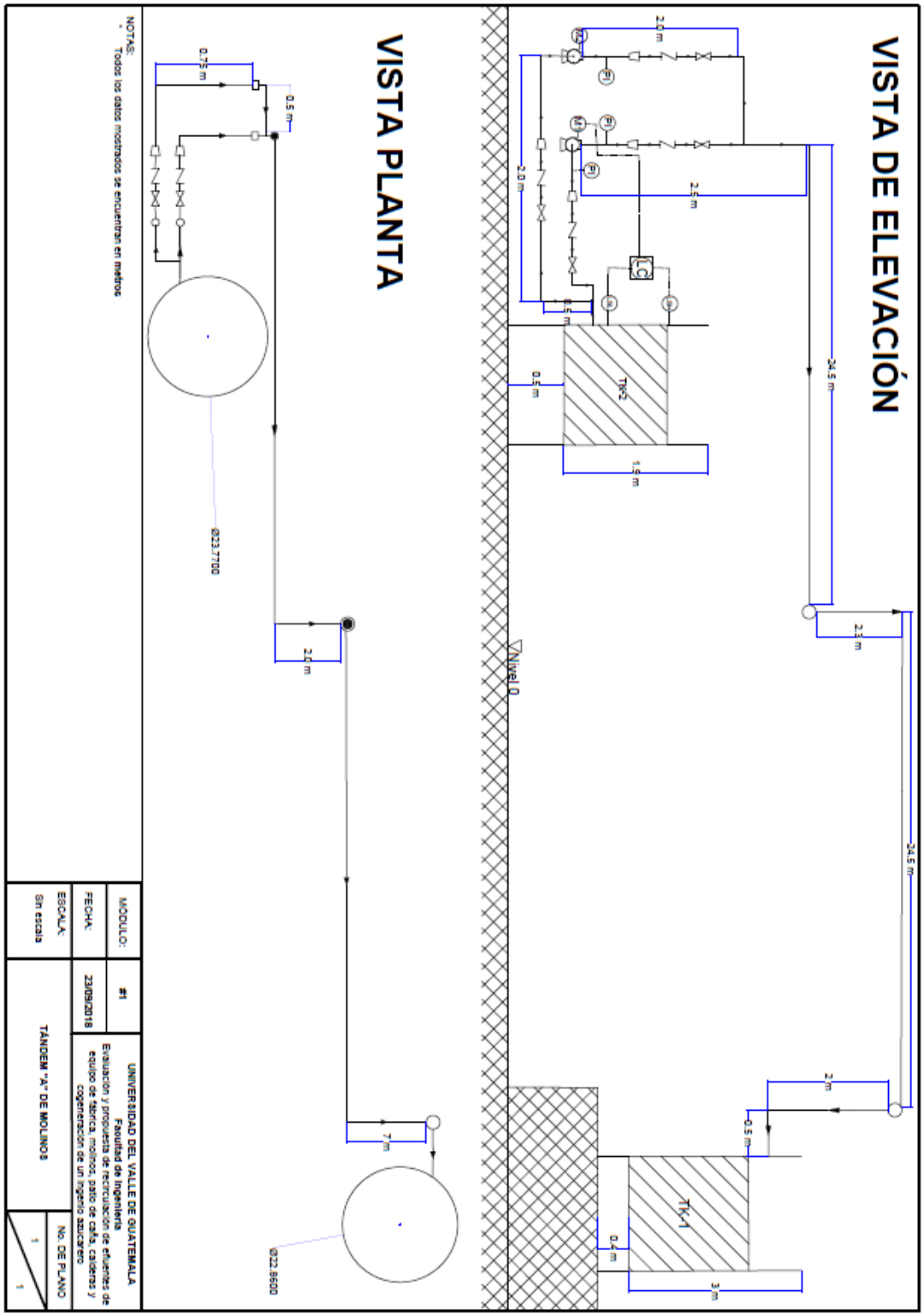


Figura 97. Propuesta de recirculación 2 vía subterránea, P&ID

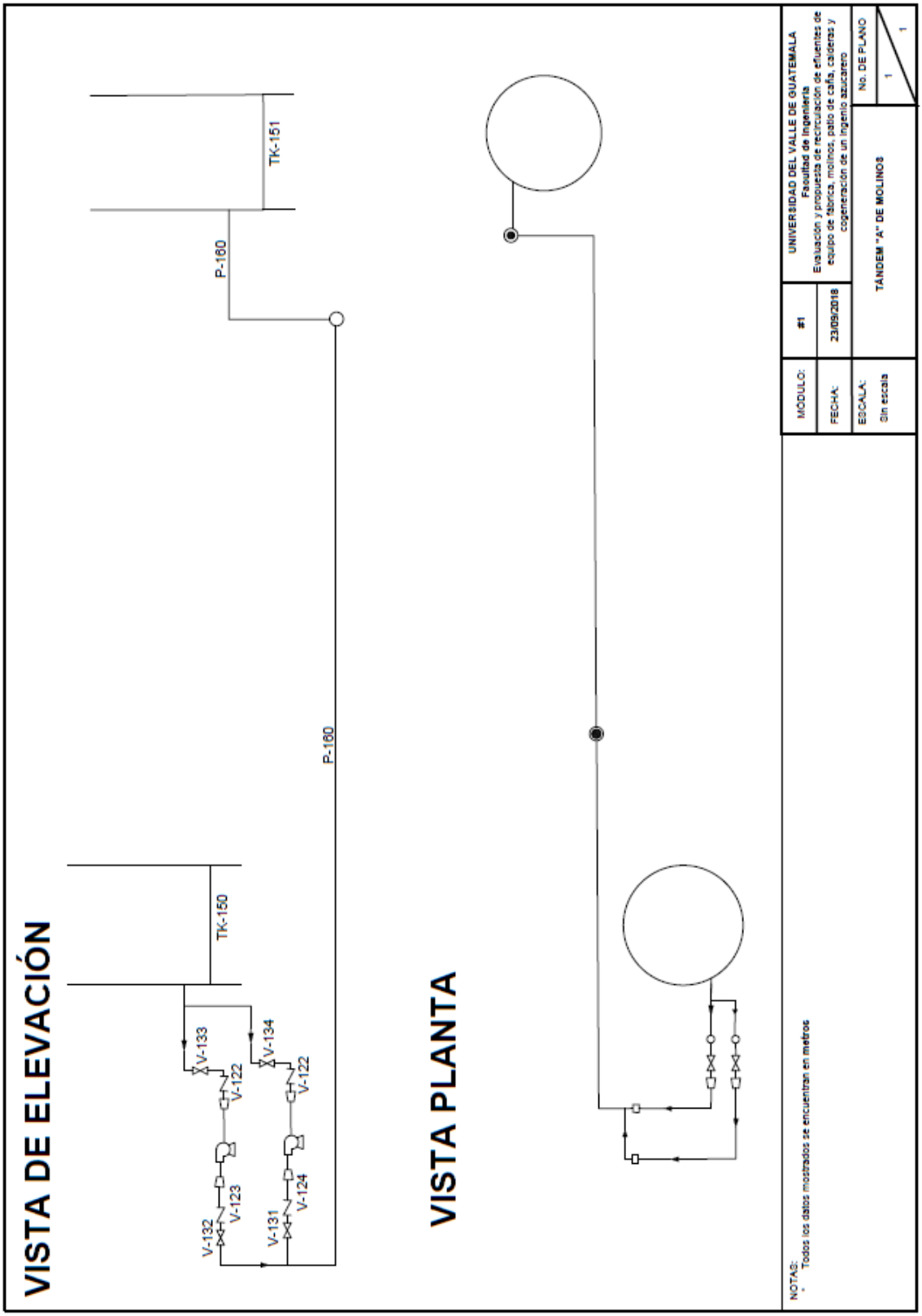
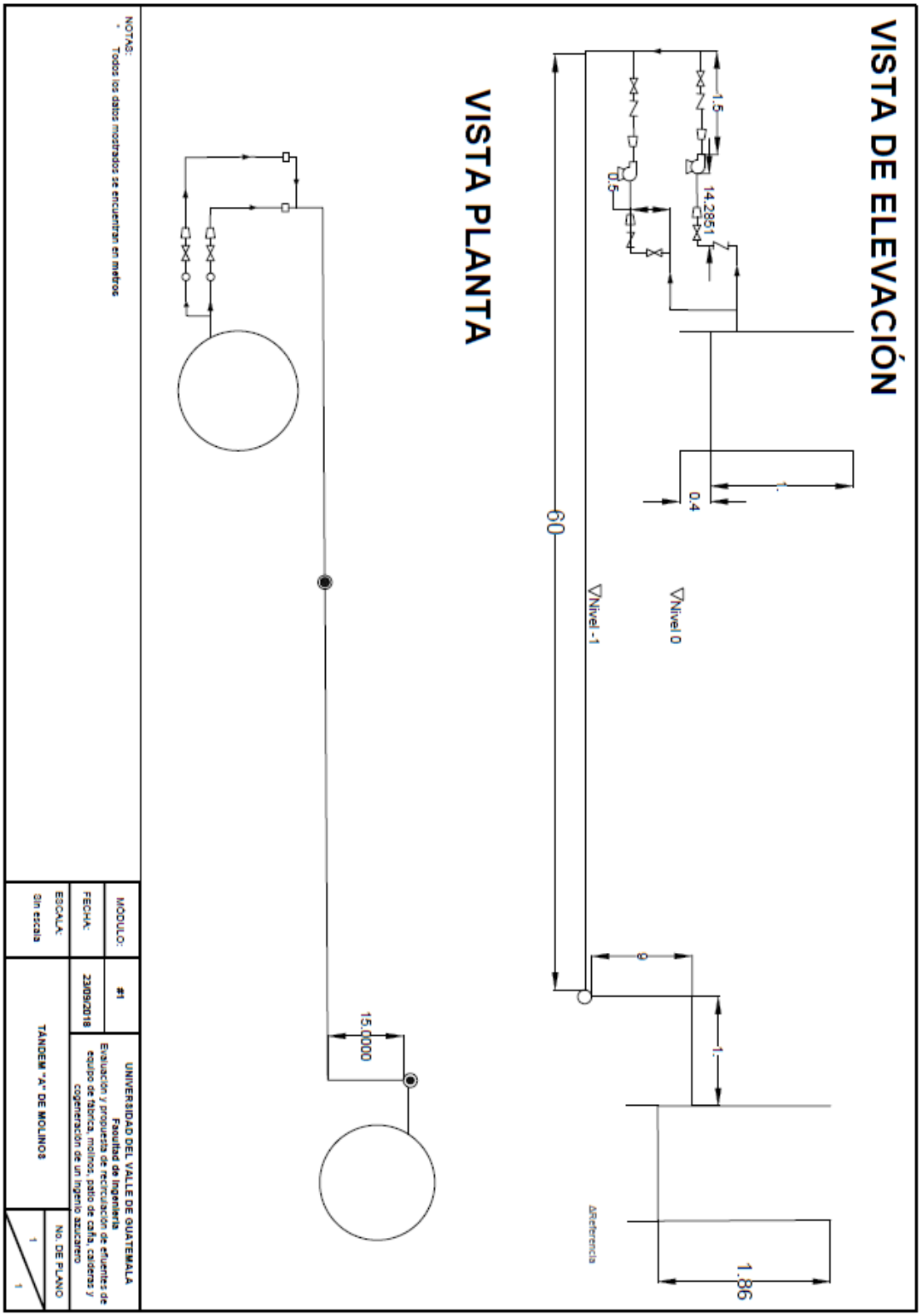


Figura 98. Propuesta de recirculación 2 vía subterránea, acotamiento



Cuadro 325. Clave de variables usadas para identificación de equipos y válvulas

Variable	Rango	Nombre
P	100-105	Bombas centrífugas
V	121-129	Válvula de compuerta
V	130-139	Válvula de cheque
M	101-105	Motor de bomba
PI	-	Manómetro
LC	-	Control de nivel
LSL	-	Switch de nivel bajo
LSH	-	Switch de nivel alto
TK	-	Tanques

4. Costos de accesorios para el sistema de recirculación Completo

Cuadro 326. Accesorios y tuberías por emplear para el circuito de recirculación completo

Área	Ítem	Cantidad		Costo unidades		Total
Molinos tándem A y B	Tubería de 6" SC 40	154	m	Q 182.96	m	Q 28,175.59
	Codos de 90° de 6"	16	unidades	Q 180.00	unidad	Q 2,880.00
	Válvula de compuerta de 6"	2	unidad	Q 2,960.00	unidad	Q 5,920.00
	Reducción concéntrica 6x4 in	2	unidad	Q 136.00	unidad	Q 272.00
	Reducción concéntrica 6x3 in	2	unidad	Q 145.00	unidad	Q 290.00
	Válvula de cheque	2	unidad	Q 3,785.00	unidad	Q 7,570.00
Patio de Caña	Tubería 1 1/2" SC 40	13.9	m	Q 27.52	m	Q 382.49
	Tubería 3/4" SC 40	42.9	m	Q 11.15	m	Q 478.26
	Tubería 1 1/4" SC 40	2.5	m	Q 23.65	m	Q 59.11
	Tubería 1" SC 40	138.6	m	Q 17.09	m	Q 2,367.86
	Tubería 2 1/2" SC 40	61.3	m	Q 51.66	m	Q 3,166.51
	Tubería 3 1/2" SC 40	28.8	m	Q 93.12	m	Q 2,682.17
	Tubería 4" SC 40	29.2	m	Q 108.86	m	Q 3,178.79
	Válvula de cheque 2 1/2"	2	unidad	Q 1,840.00	unidad	Q 3,680.00
	Válvula de cheque 3 1/2"	2	unidad	Q 1,892.00	unidad	Q 3,784.00
	Válvula de compuerta de 2 1/2"	1	unidad	Q 1,480.00	unidad	Q 1,480.00
	Válvula de compuerta de 3 1/2"	1	unidad	Q 1,752.00	unidad	Q 1,752.00
	Válvula de globo de 2 1/2"	1	unidad	Q 2,945.00	unidad	Q 2,945.00
	Válvula de globo de 3 1/2"	1	unidad	Q 3,488.00	unidad	Q 3,488.00

Área	Ítem	Cantidad		Costo unidades			Total	
Patio de Caña	Codos de 90° de 1 1/2"	3	unidad	Q	18.00	unidad	Q	54.00
	Codos de 90° de 3/4"	4	unidad	Q	7.00	unidad	Q	28.00
	Codos de 90° de 1 1/4"	2	unidad	Q	14.00	unidad	Q	28.00
	Codos de 90° de 1"	6	unidad	Q	9.00	unidad	Q	54.00
	Codos de 90° de 2 1/2"	6	unidad	Q	38.00	unidad	Q	228.00
	Codos de 90° de 3 1/2"	4	unidad	Q	52.50	unidad	Q	210.00
	Codos de 90° de 4"	5	unidad	Q	65.00	unidad	Q	325.00
	T de 4"	1	unidad	Q	86.00	unidad	Q	86.00
	Reducción concéntrica (1.5x0.75")	1	unidad	Q	32.00	unidad	Q	32.00
	Expansión concéntrica (1.0x1.25")	1	unidad	Q	22.00	unidad	Q	22.00
	Reducción concéntrica (1.0x0.75")	1	unidad	Q	16.00	unidad	Q	16.00
	Reducción excéntrica (2.5x1.5")	1	unidad	Q	238.00	unidad	Q	238.00
	Expansión concéntrica (1x2.5")	1	unidad	Q	148.00	unidad	Q	148.00
	Expansión concéntrica (2.5x4.0")	1	unidad	Q	145.00	unidad	Q	145.00
	Expansión concéntrica (1x1.5")	1	unidad	Q	26.00	unidad	Q	26.00
	Reducción concéntrica (1.5x1")	2	unidad	Q	26.00	unidad	Q	52.00
	Reducción excéntrica (3.5x3")	1	unidad	Q	40.00	unidad	Q	40.00
	Expansión concéntrica (2x3.5")	1	unidad	Q	48.00	unidad	Q	48.00
	Expansión concéntrica (3.5x4")	1	unidad	Q	42.00	unidad	Q	42.00
Fábrica	Tubería 1" SC 40	54.1	m	Q	17.09	m	Q	924.49
	Tubería 1 1/2" SC 40	32.5	m	Q	27.52	m	Q	894.40
	Tubería 3/8 ' SC 40	18.0	m	Q	16.83	m	Q	302.90
	Tubería 2" SC 40	106.7	m	Q	37.20	m	Q	3,968.66
	Tubería 6" SC 40	32.5	m	Q	182.96	m	Q	5,945.74
	Tubería 3" SC 40	6.1	m	Q	77.34	m	Q	471.48
	Válvula de cheque 2"	2	unidad	Q	960.00	unidad	Q	1,920.00
	Válvula de cheque 3"	2	unidad	Q	960.00	unidad	Q	1,920.00
	Válvula de cheque 4"	2	unidad	Q	2,240.00	unidad	Q	4,480.00
	Válvula de cheque 6"	2	unidad	Q	3,745.00	unidad	Q	7,490.00
	Válvula de compuerta de 2"	2	unidad	Q	1,480.00	unidad	Q	2,960.00
	Válvula de compuerta de 6"	2	unidad	Q	2,960.00	unidad	Q	5,920.00
	Válvula de globo de 2"	2	unidad	Q	1,840.00	unidad	Q	3,680.00
	Válvula de globo de 4"	2	unidad	Q	3,760.00	unidad	Q	7,520.00
	Válvula de globo de 6"	2	unidad	Q	9,830.00	unidad	Q	19,660.00
	Codo de 90° de 3/8"	1	unidad	Q	72.00	unidad	Q	72.00
	Codo de 90° de 1"	7	unidad	Q	7.80	unidad	Q	54.60

Área	Ítem	Cantidad		Costo unidades		Total
Fábrica	Codo de 90° de 6"	3	unidad	Q 180.00	unidad	Q 540.00
	Codo de 90° de 2"	9	unidad	Q 19.00	unidad	Q 171.00
	Codo de 90° de 3"	4	unidad	Q 40.00	unidad	Q 160.00
	Codo de 45° de 3/8"	1	unidad	Q 139.00	unidad	Q 139.00
	Codo de 45° de 1"	3	unidad	Q 9.00	unidad	Q 27.00
	Codo de 45° de 2"	2	unidad	Q 28.00	unidad	Q 56.00
	Codo de 45° de 1 1/2 "	1	unidad	Q 18.00	unidad	Q 18.00
	Reducción concéntrica (4.0x1.0")	1	unidad	Q 280.00	unidad	Q 280.00
	Reducción concéntrica (6.0x1.5")	1	unidad	Q 640.00	unidad	Q 640.00
	Reducción concéntrica (1.0x3/8")	1	unidad	Q 160.00	unidad	Q 160.00
	Reducción concéntrica (3.0x1.0")	1	unidad	Q 145.00	unidad	Q 145.00
Calderas y Cogeneración	Tubería 1/2 pulgada SC40	9.3	m	Q16.40	m	Q 152.56
	Tubería 1 pulgada SC40	457.4	m	Q17.09	m	Q 7,818.93
	Tubería 2 pulgadas SC40	90	m	Q37.20	m	Q 3,348.43
	Tubería 3 pulgadas SC40	101.9	m	Q77.36	m	Q 7,883.21
	Tubería 4 pulgadas SC40	107.5	m	Q108.89	m	Q 11,705.79
	Tubería 8 pulgadas SC40	0.2	m	Q301.71	m	Q 60.34
	Codos 90° de 1/2 pulgada	17	unidad	Q6.06	unidad	Q 103.02
	Codos 90° de 1 pulgada	158	unidad	Q14.76	unidad	Q 2,332.08
	Codos 90° de 2 pulgadas	2	unidad	Q43.39	unidad	Q 86.78
	Codos 90° de 3 pulgadas	16	unidad	Q123.16	unidad	Q 1,970.56
	Codos 90° de 4 pulgada	3	unidad	Q233.62	unidad	Q 700.86
	Codos 45° de 1 pulgada	2	unidad	Q16.08	unidad	Q 32.16
	Codos 45° de 3 pulgadas	4	unidad	Q156.40	unidad	Q 625.60
	Accesorio T 1--1--1	4	unidad	Q17.03	unidad	Q 68.12
	Accesorio T 1--3--1	1	unidad	Q50.34	unidad	Q 50.34
	Accesorio T 2--1--2	1	unidad	Q80.44	unidad	Q 80.44
	Accesorio T 2--2--2	1	unidad	Q65.95	unidad	Q 65.95
	Accesorio T 3--1--3	7	unidad	Q190.90	unidad	Q 1,336.30
	Accesorio T 4--1--4	8	unidad	Q369.08	unidad	Q 2,952.64
	Accesorio T 4--3--4	2	unidad	Q385.27	unidad	Q 770.54
	Accesorio T 4--4--4	1	unidad	Q308.47	unidad	Q 308.47
	Accesorio de 1--1--1--1	1	unidad	Q34.81	unidad	Q 34.81
	Reductor 1--1/2	2	unidad	Q16.40	unidad	Q 32.80
	Expansor 0.5--1	3	unidad	Q16.40	unidad	Q 49.20
	Expansor 1--2	1	unidad	Q37.60	unidad	Q 37.60
	Expansor 1--3	3	unidad	Q98.85	unidad	Q 296.55

Área	Ítem	Cantidad		Costo unidades		Total
Calderas y Cogeneración	Válvulas de bola	9	unidad	Q150.25	unidad	Q 1,352.25
	Tubería 6" SC 40	11.2	m	Q183.01	m	Q2,049.66
	Tubería 4" SC40	0.6	m	Q108.89	m	Q65.33
	Tubería 3" SC40	0.6	m	Q77.36	m	Q46.42
	Tubería 5" SC40	144.4	m	Q139.24	m	Q20,106.09
	Codos 90° de 6"	4	unidad	Q525.65	unidad	Q2,102.60
	Codos 90° de 5"	32	unidad	Q350.43	unidad	Q11,213.76
	Codos 45° de 5"	4	unidad	Q550.93	unidad	Q2,203.72
	Accesorio T de 5"	2	unidad	Q308.47	unidad	Q616.94
	Unión universal de 5"	31.12	unidad	Q462.71	unidad	Q14,399.54
	Válvula de retención de 5"	2	unidad	Q1,536.15	unidad	Q3,072.30
	válvula de compuerta de 5"	2	unidad	Q1,006.20	unidad	Q2,012.40
	Reductor campana 6--4 de 5"	2	unidad	Q177.94	unidad	Q355.88
	Expansión campana 3--5 de 5"	2	unidad	Q148.28	unidad	Q296.56
	Medidor de flujo de 5"	2	unidad	Q10,489.52	unidad	Q20,979.04
Tanques de almacenamiento	Anticorrosivo universal HS	1	gal	Q 440.00	unidad	Q 440.00
	Esmalte Poliuretano	1.25	gal	Q 705.00	unidad	Q 881.25
	Macropoxy 646 PW Expoxy	2	gal	Q 2,199.99	unidad	Q 4,399.98
	Lámina acero carbón 4x6 ft (3/16")	18	unidad	Q 459.40	unidad	Q 8,269.20
	Tubería 3 1/2" SC 40	1.5	m	Q 93.12	m	Q 137.66
	Tubería 2 1/2" SC 40	2.6	m	Q 51.66	m	Q 133.84
	Tubería 6" SC 40	2.6	m	Q 182.96	m	Q 474.01
	Válvula compuerta 1" SC 40	1	unidad	Q 472.00	unidad	Q 472.00
	Codo de 90º de 6"	3	unidad	Q 180.00	unidad	Q 540.00
	Codo de 90º de 3 1/2 "	3	unidad	Q 52.50	unidad	Q 157.50
	Codo de 90º de 2 1/2 "	3	unidad	Q 38.00	unidad	Q 114.00
	Switch de nivel tipo flote	6	unidad	Q 336.80	unidad	Q 2,020.80
		TOTAL				Q 289,004.03

Cuadro 327. Listado de equipo a emplear para el circuito de recirculación completo

Área	No.	ITEM	Cantidad	Precio Unidad	Precio total
Tándem A	1	Bomba de 3x4x8 Hierro, 3.8 hp	2	Q 45,731.70	Q 91,463.40
Patio de Caña	2	Bomba de 1.5x3-8 Sti, 2 hp	2	Q 31,125.10	Q 62,250.19
	3	Bomba de 2x3-6, 2 hp	2	Q 30,157.52	Q 60,315.05
Fábrica	4	Bomba 2x3-8 MTi Hierro, 3 hp	2	Q 36,665.69	Q 73,331.37
	5	Bomba 4x6-10G Hierro, 7.5 hp	2	Q 62,215.77	Q 124,431.53
Tándem B	6	Bomba 3X4-10H A40 Hierro, 14.5 hp	2	Q 53,738.34	Q 107,476.69
Calderas y cogeneración	7	Bomba 3x4-8 Mti hierro, 7 hp	2	Q 47,391.75	Q 94,783.50
Total compra de equipo ExW					Q 614,051.73

Cuadro 328. Datos de torre a utilizar para el circuito de recirculación completo.

Área	No.	ITEM	Cantidad	Precio unidad	Total
	1	Torre de enfriamiento tipo paquete contraflujo tiro inducido. Modelo 883/4	1	Q 300,950.73	Q 300,950.73
	2	RTD, señal Pt100	2	Q 405.94	Q 811.88
	3	Transmisor de temperatura	2	Q 3,359.00	Q 6,718.00
	4	Sensor y transmisor de humedad	1	Q 360.00	Q 360.00
Total de equipo de torre ExW					Q 308,840.61

5. Cálculo de muestra

a. Propiedades físicas

El tándem "A" de molinos utiliza agua de pozos para enfriamiento de los distintos sistemas de reductores planetarios y reductor de molino 6; y usa agua de río Provincias para enfriamiento de los sistemas de reductores de velocidad de alta, media y baja y de las chumaceras. Se hizo un balance de temperatura para determinar la temperatura final de la mezcla de aguas en el tanque recolector del área molinos en el tándem "A".

El balance se hizo con la temperatura y caudal máximo mostrado para cada área de los reductores, las chumaceras y reductores planetarios de cada molino.

Temperatura

$$Q = mc\Delta T$$

En donde

- Q: calor que absorbe el agua, (kJ)
- m: masa de la sustancia, (kg/s)
- c: calor específico del agua, (kJ/kg*°C)
- ΔT: variación de temperatura, (°C)

Esto se hizo para cada punto, al final se hizo una sumatoria de los calores y con ayuda de una hoja de cálculo se determinó la temperatura que hacía que $\sum Q = 0$

Para determinar las condiciones a las que el agua llega al tanque, se hizo de dos maneras distintas: para la primera se tomó muestras directas y se analizaron y para el segundo; con las propiedades medidas en cada efluente se hizo un promedio de cada una de ellas en los dos días de muestreo. Las propiedades analizadas de esta manera fueron: pH, conductividad, dureza, salinidad, sólidos suspendidos, grasas y aceites.

b. Propiedades químicas

Dureza

La medición de dureza con el kit proporcionó la cantidad de EDTA que requería la solución en grados alemanes, estos se convirtieron en ppm de CaCO3 a través de estequiometría:

$$6.0\ °d * \frac{17.85\ \text{ppm}\ CaCO_3}{1\ °d} = 107.10\ \text{ppm}\ CaCO_3$$

Sólidos suspendidos

Se lavó un papel filtro con porciones de agua destilada, luego se secó y llevó a peso constante, este papel filtro luego se lavó con porciones de agua de muestra y se filtró al vació para luego secarlo, por diferencia de peso y cantidad de agua destilada y de muestra se determinó los sólidos suspendidos.

$$\mathrm{SST} = \frac{(\mathrm{A} - \mathrm{B}) * 1000}{\mathrm{V}}$$

En donde

- SST: sólidos suspendidos totales, (mg/L)
- A: peso final del papel filtro con muestra, (mg)
- B: peso final del papel filtro con agua, (mg)
- V: volumen de muestra filtrada, (L)

$$\mathrm{SST} = \frac{403.4\ \mathrm{mg} - 402.2\ \mathrm{mg}}{0.12\ \mathrm{L}} = 10\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{L}}$$

Grasas y aceites

Se agregó muestra a un vial y se colocó en una centrífuga a 3000 rpm por 10 minutos, el resultado se analizó visualmente y se determinó si había o no presencia de grasas y aceites.

Figura 99. Ejemplo de resultado obtenido para análisis de grasas y aceites

*Para la conductividad, salinidad y pH los datos se obtuvieron directamente del multi parámetro.

Selección de bomba

Cálculo No. 1: Determinación de caudal

De acuerdo con la ecuación de caudal,

$$Q = \frac{5\ L}{11.79\ s} * \frac{60\ s}{1\ min} * \frac{0.264\ gal}{1\ L} = \ 6.72\ gpm$$

El tándem "A" cuenta con 67 efluentes que usan agua para enfriar los diferentes sistemas, estos se aforaron y se encontró el caudal (en gpm) para cada una de las salidas.

Cálculo No. 2: Diámetro de tubería

De acuerdo con la ecuación de diámetro, una primera aproximación del diámetro para la tubería según el caudal a manejar a una velocidad de 1.83 m/s es:

$$D = \sqrt{\frac{4 * \left(79.5 \frac{m^3}{h}\right)}{\pi * \left(6583.68 \frac{m}{h}\right)}} = 0.1240\ m = 4.881\ in$$

El diámetro nominal que corresponde al diámetro encontrado no es común su uso industrial, por lo que se procedió a seleccionar un diámetro de 0.1524 m (6 in). Con este nuevo valor se procedió a encontrar la nueva velocidad del fluido.

$$v = \frac{4 * \left(79.49 \frac{m^3}{h}\right)}{\pi * (0.1524\ m)^2} = 4357 \frac{m}{h} = 1.21 \frac{m}{s} = \ 3.96 \frac{ft}{s}$$

Luego se procedió a buscar en tablas de tubería el dimensionamiento para este diámetro: el diámetro nominal, el diámetro interior, el diámetro exterior, la cédula y el material

Cuadro 329. Dimensionamiento de tubería seleccionada

Rubro	Valor
Diámetro (in)	5.9786
Diámetro nominal (in)	6.0000
Diámetro interior (in)	6.0650
Diámetro interior (m)	0.154051
Diámetro exterior (in)	6.6250
Cédula	40
Material	Acero

Cálculo No. 3. Número de Reynolds

De acuerdo con la ecuación 1, el número de Reynolds es

$$N_{Re} = \frac{998\frac{kg}{m^3} * 1.21\ \frac{m}{s} * 0.1524\ m}{0.01\frac{kg}{m * s}} = 18744.3$$

Cálculo No. 4. Rugosidad relativa de la tubería

Según la ecuación de la rugosidad relativa para una tubería lisa de 6 pulgadas es:

$$e = \frac{4.57x10^{-5}\ m}{0.154\ m} = 0.0003$$

Con el diagrama de Moody, se determinó que el factor de fricción es de 0.0246.

Cálculo No. 5. Pérdidas de fricción de superficie entre la corriente del fluido y la pared sólida.

Con el factor de Fanning determinado en el cálculo anterior, se calculó las pérdidas de fricción por superficie, haciendo uso de la ecuación 7.

$$h_{fs} = 4 * 0.024 * \frac{63.4\ m}{0.154\ m} * \frac{\left(1.83\frac{m}{s}\right)^2}{2} = 41.44\frac{m^2}{s^2}$$

Cálculo No. 6. Pérdida de fricción debido a los accesorios presentes

Cuadro 330. Accesorios para utilizar en el sistema con sus respectivos factores de fricción

Descripción	Cantidad	Factor k	kf
Codos de 45°	0	0.35	0.00
Codos de 90°	11	0.75	8.25
Válvula de compuerta abierta	2	0.17	0.34
Válvula de cheque	2	2	4.00
Válvula de globo	0	70	0.00
Total para el sistema			12.59
hff (m^2/s^2)			9.357

Los factores k de fricción se obtuvieron de los cuadros en anexos. Una vez obtenido esto, se realizó una sumatoria de factores y se usó la ecuación 13, esto es posible debido a que la velocidad media a través de todos los accesorios es la misma

$$h_f = 12.59 * \frac{\left(1.21\frac{m}{s}\right)^2}{2} = 9.36\frac{m^2}{s^2}$$

Cálculo No. 7. Pérdida por fricción debido al ensanchamiento de la sección

Se hizo uso de la ecuación 9 para determinar el factor debido al ensanchamiento:

$$K_e = \left(1 - \frac{12.566\ \text{m}}{28.27\ \text{m}}\right)^2 = 0.3086$$

Luego, con la ecuación 8 se determinó las pérdidas por fricción debido al ensanchamiento de la sección de la tubería.

$$h_{fe} = 0.3086 * \frac{\left(1.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 0.229 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Cálculo No. 8. Pérdida por fricción debido a una contracción brusca

Se hizo uso de la ecuación 10:

$$K_c = 0.4 * \left(1 - \frac{7.068\ \text{m}}{28.274\ \text{m}}\right) = 0.3$$

Luego, se determinó las pérdidas por fricción debido a una contracción en la tubería.

$$h_{fc} = 0.3 * \frac{\left(1.829 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 0.223 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Cálculo No. 9. Fricción total

Para determinar la fricción total, se hizo una sumatoria de todas las pérdidas antes calculadas y se usó la ecuación para obtener:

$$h_f = \frac{\left(9.38 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 0.23 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 0.22 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 41.45 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5.23\ \text{m}$$

Cálculo No. 10. Determinación de cabeza total

Se hizo uso de la ecuación 6, que es la de Bernoulli, para determinar la cabeza total del sistema:

$$\eta W_p = \frac{(102200 - 110032.30) \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{(0 - 2.8)\ \text{m}}{1} + \frac{51.26 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 7.22\ \text{m}$$

En donde $\overline{V_a}$ y $\overline{V_b}$ son iguales y en donde el punto a está en el cabezal de entrada, y el punto b en el cabezal de salida.

Cálculo No. 11. Presión de vapor

De las constantes de Antoine, se obtuvo los siguientes valores para las constantes de Antoine: A igual a 16.3872, B igual a 3885.7 y C igual a 230.17 y a una temperatura de 25 °C, se usó la ecuación de presión de vapor que se presenta a continuación para determinar la presión de vapor:

$$\ln P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

$$p^{sat} = e^{16.3872 - \frac{3885.7}{25 + 230.17}} = 3187 \text{ kPa}$$

Cálculo No. 12. Cabeza de succión neta positiva

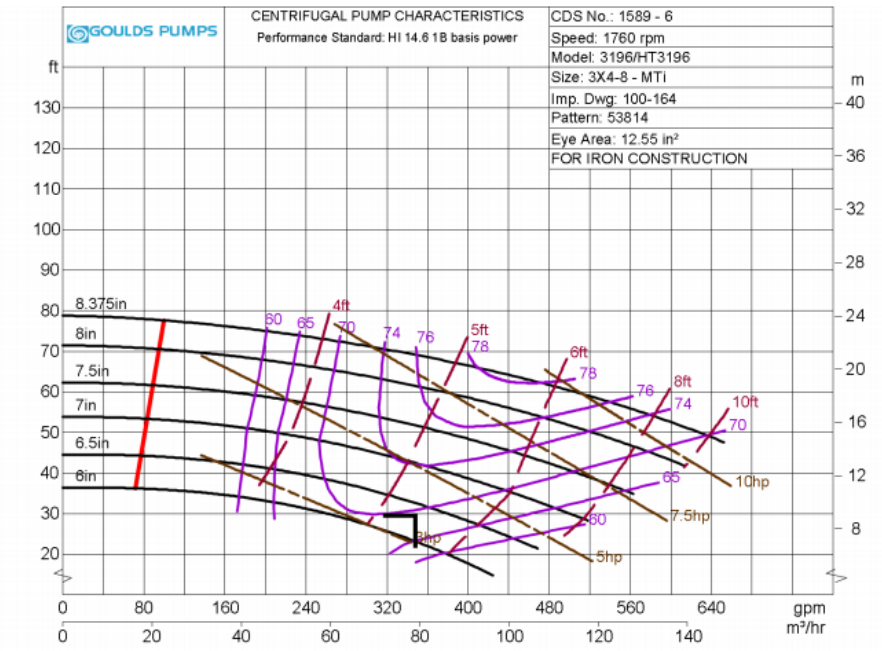
Con una presión de vapor de 3187 kPa, una presión de succión de 102.200 kPa y una densidad de 998 kg/m3 se usó la ecuación 14.

$$NPSH_a = \frac{102200}{998 * 9.81} + 0.3 - \frac{5.23}{998} - \frac{3187}{998 * 9.81} = 5.18 \text{ m}$$

Cálculo No. 13. Potencia y eficiencia

Para determinar la potencia y eficiencia de la bomba centrífuga, se hizo gráficamente a través de la curva característica dada por el proveedor.

Figura 100. Curva característica para una bomba centrífuga 3x4-8



Conociendo el caudal y la cabeza total, es posible localizar en la curva la potencia del motor BHP y la eficiencia. Para calcular la potencia de la bomba, se multiplicó la eficiencia y la potencia del motor leído directamente en la curva.

6. Datos calculados

a. Caudales medidos en los efluentes de tándem "A" de molinos.

Cuadro 331. Caudales en el área de reductores de los molinos 1, 2 y 3, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 1 -Reductor de Alta	6.58E-04			5.46E-04		
Molino 1 -Reductor de Alta	6.55E-04	6.51E-04	9.96E-06	5.26E-04	5.48E-04	2.32E-05
Molino 1 -Reductor de Alta	6.39E-04			5.72E-04		
Molino 1 -Reductor de media	1.07E-03			4.85E-04		
Molino 1 -Reductor de media	1.11E-03	1.09E-03	1.66E-05	4.41E-04	4.63E-04	2.22E-05
Molino 1 -Reductor de media	1.09E-03			4.62E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.47E-04			3.47E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.47E-04	3.51E-04	7.26E-06	3.56E-04	3.48E-04	7.49E-06
Molino 1- Reductor de baja 1	3.59E-04			3.42E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	4.55E-04			4.80E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	4.83E-04	4.67E-04	1.46E-05	4.70E-04	4.78E-04	6.59E-06
Molino 1 -Reductor de baja 2	4.64E-04			4.83E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.32E-04			3.67E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.55E-04	3.39E-04	1.32E-05	3.64E-04	3.79E-04	2.40E-05
Molino 2 -Reductor de media 1	3.31E-04			4.07E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	2.66E-04			3.09E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	2.59E-04	2.61E-04	3.71E-06	2.78E-04	2.92E-04	1.57E-05
Molino 2 -Reductor de media 2	2.60E-04			2.90E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.05E-04			5.86E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.12E-04	6.15E-04	1.19E-05	6.08E-04	5.98E-04	1.10E-05
Molino 2 -Reductor de alta	6.28E-04			5.99E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	9.82E-04			9.94E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	9.88E-04	9.85E-04	3.32E-06	9.16E-04	9.59E-04	3.93E-05
Molino 3 -Reductor de alta	9.86E-04			9.65E-04		
Molino 3 -Reductor de media	1.15E-03			9.84E-04		
Molino 3 -Reductor de media	1.16E-03	1.20E-03	8.81E-05	9.80E-04	1.02E-03	5.87E-05
Molino 3 -Reductor de media	1.30E-03			1.08E-03		
Total promedio (m^3/s)		5.96E-03			5.08E-03	
Total promedio (gpm)		94.52			80.53	

Cuadro 332. Caudales en el área de reductores de molinos 1,2 y 3, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 1 -Reductor de Alta	6.26E-04			5.08E-04		
Molino 1 -Reductor de Alta	5.65E-04	5.94E-04	3.04E-05	5.21E-04	5.06E-04	1.54E-05
Molino 1 -Reductor de Alta	5.91E-04			4.90E-04		
Molino 1 -Reductor de media	4.85E-04			3.51E-04		
Molino 1 -Reductor de media	4.65E-04	4.75E-04	1.02E-05	3.99E-04	3.83E-04	2.78E-05
Molino 1 -Reductor de media	4.74E-04			3.99E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.73E-04			3.93E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.59E-04	3.75E-04	1.70E-05	4.09E-04	3.94E-04	1.38E-05
Molino 1- Reductor de baja 1	3.93E-04			3.81E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	5.22E-04			5.39E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	5.44E-04	5.29E-04	1.29E-05	5.19E-04	5.26E-04	1.08E-05
Molino 1 -Reductor de baja 2	5.21E-04			5.21E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.95E-04			3.80E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.82E-04	3.92E-04	9.34E-06	3.66E-04	3.76E-04	8.71E-06
Molino 2 -Reductor de media 1	4.00E-04			3.83E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	3.05E-04			2.55E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	2.96E-04	3.00E-04	4.93E-06	2.70E-04	2.61E-04	7.89E-06
Molino 2 -Reductor de media 2	2.98E-04			2.58E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.45E-04			6.11E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.42E-04	6.36E-04	1.25E-05	6.12E-04	6.06E-04	8.79E-06
Molino 2 -Reductor de alta	6.22E-04			5.96E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	7.72E-04			7.74E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	7.56E-04	7.54E-04	1.87E-05	7.48E-04	7.54E-04	1.83E-05
Molino 3 -Reductor de alta	7.35E-04			7.39E-04		
Molino 3 -Reductor de media	9.35E-04			8.60E-04		
Molino 3 -Reductor de media	8.48E-04	9.27E-04	7.44E-05	8.63E-04	8.78E-04	2.86E-05
Molino 3 -Reductor de media	9.97E-04			9.11E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.98E-03			4.68E-03	
Total promedio (gpm)		78.95			74.25	

Cuadro 333. Caudales en el área de reductores de molinos 1,2 y 3, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 1 -Reductor de Alta	5.57E-04			5.46E-04		
Molino 1 -Reductor de Alta	5.04E-04	5.36E-04	2.81E-05	5.49E-04	5.45E-04	4.32E-06
Molino 1 -Reductor de Alta	5.48E-04			5.40E-04		
Molino 1 -Reductor de media	7.52E-04			7.72E-04		
Molino 1 -Reductor de media	7.89E-04	7.64E-04	2.24E-05	7.47E-04	7.47E-04	2.48E-05
Molino 1 -Reductor de media	7.49E-04			7.22E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.83E-04			3.77E-04		
Molino 1- Reductor de baja 1	3.61E-04	3.68E-04	1.24E-05	3.58E-04	3.70E-04	1.05E-05
Molino 1- Reductor de baja 1	3.62E-04			3.75E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	2.90E-04			2.93E-04		
Molino 1 -Reductor de baja 2	3.01E-04	2.95E-04	5.19E-06	3.02E-04	2.98E-04	4.77E-06
Molino 1 -Reductor de baja 2	2.94E-04			2.99E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.46E-04			3.75E-04		
Molino 2 -Reductor de media 1	3.48E-04	3.45E-04	2.98E-06	3.57E-04	3.70E-04	1.17E-05
Molino 2 -Reductor de media 1	3.42E-04			3.79E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	3.17E-04			3.00E-04		
Molino 2 -Reductor de media 2	3.01E-04	3.06E-04	9.31E-06	3.08E-04	3.06E-04	5.23E-06
Molino 2 -Reductor de media 2	3.00E-04			3.09E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.59E-04			6.45E-04		
Molino 2 -Reductor de alta	6.36E-04	6.50E-04	1.18E-05	6.59E-04	6.46E-04	1.23E-05
Molino 2 -Reductor de alta	6.53E-04			6.35E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	9.19E-04			9.83E-04		
Molino 3 -Reductor de alta	9.19E-04	9.29E-04	1.79E-05	9.57E-04	9.56E-04	2.77E-05
Molino 3 -Reductor de alta	9.50E-04			9.28E-04		
Molino 3 -Reductor de media	5.75E-04			5.76E-04		
Molino 3 -Reductor de media	5.63E-04	5.74E-04	1.03E-05	5.47E-04	5.58E-04	1.53E-05
Molino 3 -Reductor de media	5.83E-04			5.52E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.77E-03			4.80E-03	
Total promedio (gpm)		75.55			76.03	

Cuadro 334. Caudales en área de reductores de los molinos 4, 5 y 6, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 4 -Reductor de alta	9.22E-04			8.88E-04		
Molino 4 -Reductor de alta	8.53E-04	8.92E-04	3.54E-05	8.82E-04	9.16E-04	5.44E-05
Molino 4 -Reductor de alta	9.02E-04			9.79E-04		
Molino 4-Reductor de media	1.06E-03			1.10E-03		
Molino 4-Reductor de media	1.05E-03	1.05E-03	1.14E-05	1.04E-03	1.07E-03	2.69E-05
Molino 4-Reductor de media	1.04E-03			1.07E-03		
Molino 5 -Reductor de media 2	2.63E-04			2.91E-04		
Molino 5 -Reductor de media 2	2.72E-04	2.67E-04	4.60E-06	2.83E-04	2.92E-04	9.53E-06
Molino 5 -Reductor de media 2	2.66E-04			3.02E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	2.86E-04			3.08E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	2.70E-04	2.91E-04	2.27E-05	3.76E-04	3.14E-04	5.95E-05
Molino 5 -Reductor de media 1	3.15E-04			2.58E-04		
Molino 5 -Reductor de alta	7.01E-04			6.70E-04		
Molino 5 -Reductor de alta	7.23E-04	7.07E-04	1.47E-05	7.38E-04	7.14E-04	3.82E-05
Molino 5 -Reductor de alta	6.95E-04			7.33E-04		
Molino 6 -Reductor planetario media	5.21E-04			5.77E-04		
Molino 6 -Reductor planetario media	5.64E-04	5.40E-04	2.24E-05	5.36E-04	5.55E-04	2.06E-05
Molino 6 -Reductor planetario media	5.34E-04			5.51E-04		
Molino 6 -Reductor planetario alta	7.02E-04			8.01E-04		
Molino 6 -Reductor planetario alta	6.84E-04	7.02E-04	1.87E-05	7.09E-04	7.46E-04	4.88E-05
Molino 6 -Reductor planetario alta	7.21E-04			7.27E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.45E-03			4.61E-03	
Total promedio (gpm)		70.53			73.06	

Cuadro 335. Caudales en área de reductores de los molinos 4, 5 y 6, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 4 -Reductor de alta	8.24E-04			7.07E-04		
Molino 4 -Reductor de alta	7.65E-04	7.82E-04	3.66E-05	7.36E-04	7.10E-04	2.50E-05
Molino 4 -Reductor de alta	7.56E-04			6.86E-04		
Molino 4-Reductor de media	8.13E-04			7.25E-04		
Molino 4-Reductor de media	8.37E-04	8.27E-04	1.20E-05	7.03E-04	7.25E-04	2.21E-05
Molino 4-Reductor de media	8.30E-04			7.47E-04		
Molino 5 -Reductor de media 2	3.91E-04			3.61E-04		
Molino 5 -Reductor de media 2	3.76E-04	3.82E-04	7.91E-06	3.56E-04	3.59E-04	2.73E-06
Molino 5 -Reductor de media 2	3.78E-04			3.60E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	3.79E-04			4.11E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	3.96E-04	4.05E-04	3.18E-05	3.97E-04	4.05E-04	7.41E-06
Molino 5 -Reductor de media 1	4.41E-04			4.08E-04		
Molino 5 -Reductor de alta	1.19E-03			1.19E-03		
Molino 5 -Reductor de alta	1.19E-03	1.20E-03	2.40E-05	1.15E-03	1.16E-03	2.40E-05
Molino 5 -Reductor de alta	1.23E-03			1.15E-03		
Molino 6 -Reductor planetario media	4.39E-04			4.59E-04		
Molino 6 -Reductor planetario media	4.72E-04	4.61E-04	1.87E-05	4.56E-04	4.59E-04	1.84E-06
Molino 6 -Reductor planetario media	4.71E-04			4.60E-04		
Molino 6 -Reductor planetario alta	7.22E-04			6.59E-04		
Molino 6 -Reductor planetario alta	7.72E-04	7.55E-04	2.80E-05	7.05E-04	6.83E-04	2.32E-05
Molino 6 -Reductor planetario alta	7.69E-04			6.84E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.81E-03			4.50E-03	
Total promedio (gpm)		76.31			71.37	

Cuadro 336. Caudales en el área de red. de los molinos 4, 5 y 6, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
Molino 4 -Reductor de alta	8.56E-04			9.72E-04		
Molino 4 -Reductor de alta	9.82E-04	9.33E-04	6.76E-05	9.17E-04	9.36E-04	3.18E-05
Molino 4 -Reductor de alta	9.62E-04			9.17E-04		
Molino 4-Reductor de media	1.03E-03			1.04E-03		
Molino 4-Reductor de media	1.06E-03	1.05E-03	1.53E-05	1.11E-03	1.06E-03	4.28E-05
Molino 4-Reductor de media	1.05E-03			1.04E-03		
Molino 5 -Reductor de media 2	2.85E-04			2.75E-04		
Molino 5 -Reductor de media 2	3.00E-04	2.97E-04	1.06E-05	2.73E-04	2.75E-04	1.37E-06
Molino 5 -Reductor de media 2	3.05E-04			2.76E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	3.52E-04			3.37E-04		
Molino 5 -Reductor de media 1	3.36E-04	3.39E-04	1.17E-05	3.34E-04	3.36E-04	2.02E-06
Molino 5 -Reductor de media 1	3.29E-04			3.38E-04		
Molino 5 -Reductor de alta	9.59E-04			9.61E-04		
Molino 5 -Reductor de alta	1.06E-03	1.02E-03	5.08E-05	8.99E-04	8.25E-04	1.84E-04
Molino 5 -Reductor de alta	1.04E-03			6.16E-04		
Molino 6 -Reductor planetario media	1.47E-03			2.72E-04		
Molino 6 -Reductor planetario media	1.52E-03	1.51E-03	3.60E-05	2.82E-04	2.73E-04	8.81E-06
Molino 6 -Reductor planetario media	1.54E-03			2.64E-04		
Molino 6 -Reductor planetario alta	2.73E-04			1.43E-03		
Molino 6 -Reductor planetario alta	2.97E-04	2.83E-04	1.28E-05	1.22E-03	1.35E-03	1.15E-04
Molino 6 -Reductor planetario alta	2.78E-04			1.41E-03		
Total promedio (m^3/s)		5.43E-03			5.06E-03	
Total promedio (gpm)		86.02			80.17	

Cuadro 337. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	1.27E-04			1.44E-04		
4ta maza lado corona	1.39E-04	1.29E-04	9.25E-06	1.57E-04	1.52E-04	7.04E-06
4ta maza lado corona	1.20E-04			1.55E-04		
Maza cañera lado corona	3.45E-04			3.53E-04		
Maza cañera lado corona	3.42E-04	3.45E-04	2.97E-06	3.65E-04	3.65E-04	1.12E-05
Maza cañera lado corona	3.48E-04			3.75E-04		
Maza superior lado corona	5.38E-04			5.26E-04		
Maza superior lado corona	5.65E-04	5.53E-04	1.40E-05	5.41E-04	5.41E-04	1.49E-05
Maza superior lado corona	5.56E-04			5.56E-04		
Maza bagacera lado corona	3.45E-04			3.46E-04		
Maza bagacera lado corona	3.50E-04	3.51E-04	6.33E-06	3.59E-04	3.51E-04	6.80E-06
Maza bagacera lado corona	3.58E-04			3.49E-04		
4ta maza lado espiga	3.62E-04			4.11E-04		
4ta maza lado espiga	3.67E-04	3.71E-04	1.11E-05	4.29E-04	4.15E-04	1.18E-05
4ta maza lado espiga	3.83E-04			4.07E-04		
Maza cañera lado espiga	2.55E-04			5.54E-04		
Maza cañera lado espiga	2.54E-04	2.53E-04	2.18E-06	6.00E-04	5.57E-04	4.24E-05
Maza cañera lado espiga	2.51E-04			5.15E-04		
Maza superior lado espiga	4.58E-04			2.56E-04		
Maza superior lado espiga	4.97E-04	4.77E-04	1.94E-05	2.51E-04	2.54E-04	2.80E-06
Maza superior lado espiga	4.76E-04			2.55E-04		
Maza bagacera lado espiga	2.37E-04			3.81E-04		
Maza bagacera lado espiga	2.46E-04	2.39E-04	6.08E-06	3.69E-04	3.69E-04	1.19E-05
Maza bagacera lado espiga	2.34E-04			3.58E-04		
Reductor planetario 1	5.83E-04			3.07E-04		
Reductor planetario 1	5.76E-04	5.74E-04	1.09E-05	2.57E-04	2.62E-04	4.30E-05
Reductor planetario 1	5.62E-04			2.21E-04		
Reductor planetario 2	5.88E-04			5.42E-04		
Reductor planetario 2	5.93E-04	5.68E-04	3.91E-05	5.62E-04	5.08E-04	7.76E-05
Reductor planetario 2	5.23E-04			4.19E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.86E-03			3.77E-03	
Total promedio (gpm)		61.18			59.81	

Cuadro 338. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	2.77E-04			3.14E-04		
4ta maza lado corona	2.89E-04	2.76E-04	1.28E-05	3.21E-04	3.18E-04	3.19E-06
4ta maza lado corona	2.63E-04			3.18E-04		
Maza cañera lado corona	3.23E-04			3.83E-04		
Maza cañera lado corona	3.17E-04	3.19E-04	3.31E-06	3.88E-04	3.89E-04	6.74E-06
Maza cañera lado corona	3.18E-04			3.96E-04		
Maza superior lado corona	5.62E-04			6.61E-04		
Maza superior lado corona	5.63E-04	5.61E-04	2.59E-06	6.44E-04	6.54E-04	9.26E-06
Maza superior lado corona	5.58E-04			6.59E-04		
Maza bagacera lado corona	3.53E-04			4.00E-04		
Maza bagacera lado corona	3.65E-04	3.56E-04	8.10E-06	3.88E-04	3.94E-04	6.12E-06
Maza bagacera lado corona	3.50E-04			3.93E-04		
4ta maza lado espiga	4.78E-04			4.16E-04		
4ta maza lado espiga	5.66E-04	5.09E-04	4.95E-05	4.25E-04	4.25E-04	9.49E-06
4ta maza lado espiga	4.82E-04			4.35E-04		
Maza cañera lado espiga	4.93E-04			4.74E-04		
Maza cañera lado espiga	4.97E-04	4.93E-04	4.49E-06	4.80E-04	4.79E-04	4.06E-06
Maza cañera lado espiga	4.88E-04			4.83E-04		
Maza superior lado espiga	4.99E-04			4.78E-04		
Maza superior lado espiga	4.65E-04	4.88E-04	1.97E-05	4.99E-04	4.77E-04	2.16E-05
Maza superior lado espiga	4.99E-04			4.56E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.50E-04			3.41E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.16E-04	3.35E-04	1.76E-05	3.30E-04	3.38E-04	6.57E-06
Maza bagacera lado espiga	3.40E-04			3.42E-04		
Reductor planetario 1	5.47E-04			5.88E-04		
Reductor planetario 1	5.62E-04	5.48E-04	1.40E-05	5.16E-04	5.65E-04	4.21E-05
Reductor planetario 1	5.34E-04			5.90E-04		
Reductor planetario 2	5.85E-04			5.56E-04		
Reductor planetario 2	5.51E-04	5.72E-04	1.82E-05	5.50E-04	5.44E-04	1.55E-05
Reductor planetario 2	5.80E-04			5.26E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.46E-03			4.58E-03	
Total promedio (gpm)		70.65			72.63	

Cuadro 339. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 1, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	1.95E-04			2.43E-04		
4ta maza lado corona	2.17E-04	2.07E-04	1.12E-05	2.49E-04	2.40E-04	1.02E-05
4ta maza lado corona	2.10E-04			2.29E-04		
Maza cañera lado corona	3.58E-04			3.54E-04		
Maza cañera lado corona	3.38E-04	3.37E-04	2.19E-05	3.48E-04	3.47E-04	7.27E-06
Maza cañera lado corona	3.14E-04			3.40E-04		
Maza superior lado corona	4.56E-04			4.95E-04		
Maza superior lado corona	4.59E-04	4.60E-04	5.46E-06	4.66E-04	4.83E-04	1.56E-05
Maza superior lado corona	4.66E-04			4.90E-04		
Maza bagacera lado corona	3.42E-04			3.97E-04		
Maza bagacera lado corona	3.68E-04	3.54E-04	1.29E-05	3.72E-04	3.84E-04	1.27E-05
Maza bagacera lado corona	3.51E-04			3.84E-04		
4ta maza lado espiga	3.80E-04			6.09E-04		
4ta maza lado espiga	4.02E-04	3.93E-04	1.15E-05	4.84E-04	5.46E-04	6.24E-05
4ta maza lado espiga	3.98E-04			5.43E-04		
Maza cañera lado espiga	4.32E-04			5.23E-04		
Maza cañera lado espiga	4.16E-04	4.27E-04	9.61E-06	5.37E-04	5.28E-04	8.40E-06
Maza cañera lado espiga	4.33E-04			5.22E-04		
Maza superior lado espiga	4.93E-04			5.79E-04		
Maza superior lado espiga	5.03E-04	4.96E-04	5.37E-06	5.31E-04	5.51E-04	2.53E-05
Maza superior lado espiga	4.93E-04			5.41E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.47E-04			3.75E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.24E-04	3.44E-04	1.86E-05	3.80E-04	3.80E-04	4.51E-06
Maza bagacera lado espiga	3.60E-04			3.84E-04		
Reductor planetario 1	5.26E-04			5.10E-04		
Reductor planetario 1	5.08E-04	5.17E-04	9.35E-06	5.23E-04	5.31E-04	2.69E-05
Reductor planetario 1	5.17E-04			5.61E-04		
Reductor planetario 2	6.08E-04			6.85E-04		
Reductor planetario 2	6.26E-04	6.01E-04	2.84E-05	6.23E-04	6.39E-04	4.06E-05
Reductor planetario 2	5.70E-04			6.08E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.14E-03			4.63E-03	
Total promedio (gpm)		65.56			73.37	

Cuadro 340. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	2.98E-04			3.04E-04		
4ta maza lado corona	3.43E-04	3.11E-04	2.85E-05	3.22E-04	3.09E-04	1.15E-05
4ta maza lado corona	2.91E-04			3.01E-04		
Maza cañera lado corona	4.99E-04			4.64E-04		
Maza cañera lado corona	4.25E-04	4.55E-04	3.90E-05	4.61E-04	4.61E-04	2.49E-06
Maza cañera lado corona	4.41E-04			4.59E-04		
Maza superior lado corona	6.42E-04			5.28E-04		
Maza superior lado corona	6.49E-04	6.11E-04	6.04E-05	4.99E-04	5.11E-04	1.50E-05
Maza superior lado corona	5.42E-04			5.07E-04		
Maza bagacera lado corona	4.08E-04			4.07E-04		
Maza bagacera lado corona	3.58E-04	3.66E-04	3.77E-05	3.86E-04	4.05E-04	1.86E-05
Maza bagacera lado corona	3.34E-04			4.23E-04		
4ta maza lado espiga	3.92E-04			4.44E-04		
4ta maza lado espiga	3.84E-04	3.94E-04	1.08E-05	4.11E-04	4.23E-04	1.88E-05
4ta maza lado espiga	4.05E-04			4.13E-04		
Maza cañera lado espiga	2.88E-04			2.98E-04		
Maza cañera lado espiga	2.81E-04	2.83E-04	4.37E-06	2.96E-04	2.96E-04	2.31E-06
Maza cañera lado espiga	2.80E-04			2.94E-04		
Maza superior lado espiga	1.90E-04			2.43E-04		
Maza superior lado espiga	2.00E-04	1.94E-04	5.45E-06	2.49E-04	2.46E-04	3.01E-06
Maza superior lado espiga	1.91E-04			2.44E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.97E-04			4.67E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.80E-04	3.80E-04	1.66E-05	4.47E-04	4.64E-04	1.59E-05
Maza bagacera lado espiga	3.64E-04			4.79E-04		
Sistema hidráulico	1.85E-03			1.86E-03		
Sistema hidráulico	1.81E-03	1.84E-03	3.22E-05	1.80E-03	1.85E-03	4.36E-05
Sistema hidráulico	1.87E-03			1.88E-03		
Total promedio (m^3/s)		4.84E-03			4.96E-03	
Total promedio (gpm)		76.65			78.66	

Cuadro 341. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	2.63E-04			3.03E-04		
4ta maza lado corona	2.63E-04	2.65E-04	3.62E-06	3.09E-04	3.06E-04	3.25E-06
4ta maza lado corona	2.70E-04			3.05E-04		
Maza cañera lado corona	7.80E-04			5.66E-04		
Maza cañera lado corona	7.90E-04	7.92E-04	1.40E-05	5.66E-04	5.68E-04	3.84E-06
Maza cañera lado corona	8.07E-04			5.72E-04		
Maza superior lado corona	8.02E-04			8.05E-04		
Maza superior lado corona	7.92E-04	7.84E-04	2.34E-05	7.94E-04	8.00E-04	5.91E-06
Maza superior lado corona	7.58E-04			8.00E-04		
Maza bagacera lado corona	4.46E-04			4.24E-04		
Maza bagacera lado corona	4.41E-04	4.45E-04	4.11E-06	4.17E-04	4.20E-04	3.76E-06
Maza bagacera lado corona	4.48E-04			4.21E-04		
4ta maza lado espiga	4.51E-04			4.39E-04		
4ta maza lado espiga	4.25E-04	4.35E-04	1.39E-05	4.42E-04	4.39E-04	3.85E-06
4ta maza lado espiga	4.30E-04			4.35E-04		
Maza cañera lado espiga	4.91E-04			5.00E-04		
Maza cañera lado espiga	5.22E-04	5.15E-04	2.17E-05	4.84E-04	4.90E-04	9.11E-06
Maza cañera lado espiga	5.33E-04			4.85E-04		
Maza superior lado espiga	3.91E-04			3.91E-04		
Maza superior lado espiga	4.10E-04	4.06E-04	1.40E-05	4.04E-04	4.11E-04	2.45E-05
Maza superior lado espiga	4.18E-04			4.38E-04		
Maza bagacera lado espiga	4.23E-04			4.31E-04		
Maza bagacera lado espiga	4.26E-04	4.30E-04	9.06E-06	4.46E-04	4.40E-04	8.43E-06
Maza bagacera lado espiga	4.40E-04			4.43E-04		
Sistema hidráulico	1.70E-03			1.86E-03		
Sistema hidráulico	1.75E-03	1.72E-03	2.94E-05	1.81E-03	1.83E-03	2.96E-05
Sistema hidráulico	1.71E-03			1.81E-03		
Total promedio (m^3/s)		5.79E-03			5.70E-03	
Total promedio (gpm)		91.84			90.38	

Cuadro 342. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 2, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	2.31E-04			2.03E-04		
4ta maza lado corona	2.22E-04	2.25E-04	4.79E-06	2.12E-04	2.09E-04	5.08E-06
4ta maza lado corona	2.22E-04			2.12E-04		
Maza cañera lado corona	7.28E-04			6.19E-04		
Maza cañera lado corona	7.07E-04	7.18E-04	1.04E-05	6.56E-04	6.32E-04	2.02E-05
Maza cañera lado corona	7.19E-04			6.22E-04		
Maza superior lado corona	7.12E-04			6.30E-04		
Maza superior lado corona	7.00E-04	7.07E-04	6.39E-06	6.49E-04	6.41E-04	9.41E-06
Maza superior lado corona	7.10E-04			6.43E-04		
Maza bagacera lado corona	4.09E-04			4.08E-04		
Maza bagacera lado corona	4.19E-04	4.15E-04	4.92E-06	3.96E-04	4.04E-04	7.11E-06
Maza bagacera lado corona	4.16E-04			4.08E-04		
4ta maza lado espiga	4.67E-04			5.03E-04		
4ta maza lado espiga	4.77E-04	4.72E-04	5.21E-06	5.14E-04	4.99E-04	1.69E-05
4ta maza lado espiga	4.72E-04			4.81E-04		
Maza cañera lado espiga	5.20E-04			5.97E-04		
Maza cañera lado espiga	5.30E-04	5.21E-04	8.24E-06	5.41E-04	5.56E-04	3.57E-05
Maza cañera lado espiga	5.14E-04			5.31E-04		
Maza superior lado espiga	4.85E-04			4.65E-04		
Maza superior lado espiga	4.44E-04	4.74E-04	2.64E-05	4.55E-04	4.60E-04	4.77E-06
Maza superior lado espiga	4.93E-04			4.59E-04		
Maza bagacera lado espiga	4.58E-04			5.23E-04		
Maza bagacera lado espiga	4.75E-04	4.72E-04	1.24E-05	4.78E-04	4.92E-04	2.70E-05
Maza bagacera lado espiga	4.82E-04			4.74E-04		
Sistema hidráulico	2.10E-03			2.06E-03		
Sistema hidráulico	2.09E-03	2.09E-03	6.37E-06	2.06E-03	2.06E-03	2.45E-06
Sistema hidráulico	2.09E-03			2.06E-03		
Total promedio (m^3/s)		6.10E-03			5.95E-03	
Total promedio (gpm)		96.63			94.34	

Cuadro 343. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	5.00E-04			4.46E-04		
4ta maza lado corona	5.10E-04	5.12E-04	1.33E-05	5.51E-04	5.10E-04	5.59E-05
4ta maza lado corona	5.26E-04			5.34E-04		
Maza cañera lado corona	5.21E-04			4.97E-04		
Maza cañera lado corona	5.10E-04	5.22E-04	1.23E-05	5.31E-04	5.13E-04	1.74E-05
Maza cañera lado corona	5.34E-04			5.10E-04		
Maza superior lado corona	4.67E-04			4.73E-04		
Maza superior lado corona	4.67E-04	4.61E-04	1.04E-05	4.72E-04	4.84E-04	2.05E-05
Maza superior lado corona	4.49E-04			5.08E-04		
Maza bagacera lado corona	4.49E-04			4.65E-04		
Maza bagacera lado corona	4.69E-04	4.68E-04	1.88E-05	4.96E-04	4.79E-04	1.60E-05
Maza bagacera lado corona	4.87E-04			4.75E-04		
4ta maza lado espiga	3.86E-04			5.21E-04		
4ta maza lado espiga	3.84E-04	3.81E-04	7.19E-06	4.86E-04	5.09E-04	2.02E-05
4ta maza lado espiga	3.73E-04			5.20E-04		
Maza cañera lado espiga	2.04E-04			2.78E-04		
Maza cañera lado espiga	1.96E-04	1.97E-04	7.06E-06	2.76E-04	2.78E-04	1.55E-06
Maza cañera lado espiga	1.90E-04			2.79E-04		
Maza superior lado espiga	4.16E-04			5.83E-04		
Maza superior lado espiga	4.24E-04	4.25E-04	8.48E-06	6.13E-04	5.83E-04	3.08E-05
Maza superior lado espiga	4.33E-04			5.52E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.21E-04			5.45E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.56E-04	3.30E-04	2.30E-05	5.45E-04	5.49E-04	7.00E-06
Maza bagacera lado espiga	3.13E-04			5.57E-04		
Reductor Planetario	5.52E-04			5.22E-04		
Reductor Planetario	4.83E-04	5.08E-04	3.86E-05	4.99E-04	4.93E-04	3.17E-05
Reductor Planetario	4.87E-04			4.59E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.80E-03			4.40E-03	
Total promedio (gpm)		60.28			69.69	

Cuadro 344. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	5.84E-04			6.56E-04		
4ta maza lado corona	6.28E-04	6.09E-04	2.23E-05	6.92E-04	6.77E-04	1.92E-05
4ta maza lado corona	6.15E-04			6.85E-04		
Maza cañera lado corona	5.03E-04			5.22E-04		
Maza cañera lado corona	5.40E-04	5.28E-04	2.17E-05	5.41E-04	5.29E-04	1.11E-05
Maza cañera lado corona	5.40E-04			5.23E-04		
Maza superior lado corona	4.64E-04			4.75E-04		
Maza superior lado corona	4.78E-04	4.77E-04	1.29E-05	4.90E-04	4.87E-04	1.00E-05
Maza superior lado corona	4.90E-04			4.94E-04		
Maza bagacera lado corona	4.49E-04			4.65E-04		
Maza bagacera lado corona	4.69E-04	4.68E-04	1.88E-05	4.96E-04	4.79E-04	1.60E-05
Maza bagacera lado corona	4.87E-04			4.75E-04		
4ta maza lado espiga	3.93E-04			3.99E-04		
4ta maza lado espiga	3.52E-04	3.75E-04	2.13E-05	4.02E-04	4.03E-04	5.49E-06
4ta maza lado espiga	3.81E-04			4.10E-04		
Maza cañera lado espiga	1.82E-04			1.95E-04		
Maza cañera lado espiga	1.88E-04	1.85E-04	2.97E-06	1.92E-04	1.92E-04	2.57E-06
Maza cañera lado espiga	1.85E-04			1.90E-04		
Maza superior lado espiga	4.59E-04			4.26E-04		
Maza superior lado espiga	4.49E-04	4.57E-04	7.39E-06	4.35E-04	4.33E-04	6.21E-06
Maza superior lado espiga	4.64E-04			4.38E-04		
Maza bagacera lado espiga	5.66E-04			5.80E-04		
Maza bagacera lado espiga	5.37E-04	5.58E-04	1.90E-05	5.75E-04	5.77E-04	2.94E-06
Maza bagacera lado espiga	5.72E-04			5.76E-04		
Reductor Planetario	4.86E-04			7.81E-04		
Reductor Planetario	4.81E-04	4.92E-04	1.49E-05	7.49E-04	7.52E-04	2.80E-05
Reductor Planetario	5.09E-04			7.25E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.15E-03			4.53E-03	
Total promedio (gpm)		65.77			71.78	

Cuadro 345. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 3, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	4.61E-04			4.94E-04		
4ta maza lado corona	4.53E-04	4.69E-04	2.14E-05	5.03E-04	4.92E-04	1.14E-05
4ta maza lado corona	4.93E-04			4.80E-04		
Maza cañera lado corona	6.02E-04			5.15E-04		
Maza cañera lado corona	5.96E-04	5.95E-04	6.83E-06	5.03E-04	5.04E-04	1.09E-05
Maza cañera lado corona	5.88E-04			4.94E-04		
Maza superior lado corona	5.78E-04			4.95E-04		
Maza superior lado corona	5.75E-04	6.05E-04	4.98E-05	4.90E-04	4.81E-04	2.01E-05
Maza superior lado corona	6.63E-04			4.58E-04		
Maza bagacera lado corona	4.49E-04			4.65E-04		
Maza bagacera lado corona	4.69E-04	4.68E-04	1.88E-05	4.96E-04	4.79E-04	1.60E-05
Maza bagacera lado corona	4.87E-04			4.75E-04		
4ta maza lado espiga	2.58E-04			2.57E-04		
4ta maza lado espiga	2.30E-04	2.37E-04	1.83E-05	2.52E-04	2.56E-04	4.35E-06
4ta maza lado espiga	2.24E-04			2.60E-04		
Maza cañera lado espiga	2.04E-04			2.11E-04		
Maza cañera lado espiga	1.93E-04	2.03E-04	9.71E-06	2.11E-04	2.11E-04	1.20E-07
Maza cañera lado espiga	2.12E-04			2.11E-04		
Maza superior lado espiga	2.25E-04			1.69E-04		
Maza superior lado espiga	3.09E-04	2.28E-04	7.91E-05	1.84E-04	1.77E-04	7.95E-06
Maza superior lado espiga	1.51E-04			1.78E-04		
Maza bagacera lado espiga	5.41E-04			5.68E-04		
Maza bagacera lado espiga	5.41E-04	5.44E-04	6.03E-06	5.91E-04	5.73E-04	1.64E-05
Maza bagacera lado espiga	5.51E-04			5.60E-04		
Reductor Planetario	5.52E-04			8.77E-04		
Reductor Planetario	4.83E-04	5.08E-04	3.86E-05	8.10E-04	8.28E-04	4.36E-05
Reductor Planetario	4.87E-04			7.95E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.86E-03			4.00E-03	
Total promedio (gpm)		61.16			63.41	

Cuadro 346. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	5.08E-04			5.00E-04		
4ta maza lado corona	5.63E-04	5.23E-04	3.46E-05	5.30E-04	5.20E-04	1.71E-05
4ta maza lado corona	4.99E-04			5.29E-04		
Maza cañera lado corona	4.21E-04			3.70E-04		
Maza cañera lado corona	3.84E-04	4.03E-04	1.84E-05	3.75E-04	3.82E-04	1.75E-05
Maza cañera lado corona	4.03E-04			4.02E-04		
Maza superior lado corona	1.48E-04			1.48E-04		
Maza superior lado corona	1.42E-04	1.42E-04	6.05E-06	1.59E-04	1.53E-04	5.49E-06
Maza superior lado corona	1.36E-04			1.54E-04		
Maza bagacera lado corona	2.51E-04			2.45E-04		
Maza bagacera lado corona	2.48E-04	2.49E-04	1.63E-06	2.51E-04	2.48E-04	3.22E-06
Maza bagacera lado corona	2.49E-04			2.50E-04		
4ta maza lado espiga	8.00E-05			1.25E-04		
4ta maza lado espiga	8.15E-05	7.50E-05	1.01E-05	1.28E-04	1.28E-04	2.38E-06
4ta maza lado espiga	6.34E-05			1.30E-04		
Maza cañera lado espiga	2.04E-04			2.13E-04		
Maza cañera lado espiga	2.03E-04	2.09E-04	9.83E-06	2.13E-04	2.10E-04	5.21E-06
Maza cañera lado espiga	2.20E-04			2.04E-04		
Maza superior lado espiga	2.23E-04			2.31E-04		
Maza superior lado espiga	2.25E-04	2.25E-04	1.56E-06	2.34E-04	2.31E-04	4.13E-06
Maza superior lado espiga	2.26E-04			2.26E-04		
Reductor Planetario	1.05E-03			1.02E-03		
Reductor Planetario	1.07E-03	1.05E-03	2.20E-05	1.03E-03	1.05E-03	5.38E-05
Reductor Planetario	1.03E-03			1.11E-03		
Total promedio (m^3/s)		2.88E-03			2.92E-03	
Total promedio (gpm)		45.58			46.36	

Cuadro 347. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	6.38E-04			5.59E-04		
4ta maza lado corona	6.05E-04	6.14E-04	2.11E-05	5.62E-04	5.69E-04	1.48E-05
4ta maza lado corona	5.99E-04			5.86E-04		
Maza cañera lado corona	5.36E-04			5.52E-04		
Maza cañera lado corona	5.58E-04	5.39E-04	1.69E-05	5.22E-04	5.36E-04	1.49E-05
Maza cañera lado corona	5.24E-04			5.33E-04		
Maza superior lado corona	4.26E-04			4.20E-04		
Maza superior lado corona	4.29E-04	4.33E-04	9.81E-06	4.27E-04	4.18E-04	9.88E-06
Maza superior lado corona	4.44E-04			4.08E-04		
Maza bagacera lado corona	2.34E-04			1.78E-04		
Maza bagacera lado corona	2.16E-04	2.23E-04	1.01E-05	1.72E-04	1.75E-04	2.92E-06
Maza bagacera lado corona	2.18E-04			1.76E-04		
4ta maza lado espiga	1.73E-04			1.92E-04		
4ta maza lado espiga	1.69E-04	1.73E-04	4.10E-06	1.88E-04	1.91E-04	2.43E-06
4ta maza lado espiga	1.77E-04			1.92E-04		
Maza cañera lado espiga	2.46E-04			2.52E-04		
Maza cañera lado espiga	2.35E-04	2.37E-04	8.09E-06	2.52E-04	2.53E-04	2.85E-06
Maza cañera lado espiga	2.31E-04			2.57E-04		
Maza superior lado espiga	2.25E-04			1.97E-04		
Maza superior lado espiga	2.02E-04	2.12E-04	1.22E-05	1.93E-04	1.94E-04	1.96E-06
Maza superior lado espiga	2.08E-04			1.94E-04		
Reductor Planetario	1.55E-03			1.51E-03		
Reductor Planetario	1.58E-03	1.53E-03	6.47E-05	1.51E-03	1.50E-03	1.13E-05
Reductor Planetario	1.45E-03			1.49E-03		
Total promedio (m^3/s)		3.96E-03			3.84E-03	
Total promedio (gpm)		62.75			60.88	

Cuadro 348. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 4, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	6.76E-04			6.94E-04		
4ta maza lado corona	7.19E-04	6.97E-04	2.19E-05	6.81E-04	6.74E-04	2.49E-05
4ta maza lado corona	6.95E-04			6.46E-04		
Maza cañera lado corona	4.55E-04			4.39E-04		
Maza cañera lado corona	4.29E-04	4.43E-04	1.35E-05	4.33E-04	4.34E-04	4.74E-06
Maza cañera lado corona	4.45E-04			4.29E-04		
Maza superior lado corona	6.15E-04			5.99E-04		
Maza superior lado corona	5.42E-04	5.78E-04	3.62E-05	5.68E-04	5.71E-04	2.63E-05
Maza superior lado corona	5.77E-04			5.46E-04		
Maza bagacera lado corona	2.51E-04			2.45E-04		
Maza bagacera lado corona	2.48E-04	2.49E-04	1.63E-06	2.51E-04	2.48E-04	3.22E-06
Maza bagacera lado corona	2.49E-04			2.50E-04		
4ta maza lado espiga	1.92E-04			1.87E-04		
4ta maza lado espiga	1.89E-04	1.90E-04	1.72E-06	1.87E-04	1.87E-04	8.59E-07
4ta maza lado espiga	1.89E-04			1.86E-04		
Maza cañera lado espiga	1.97E-04			1.86E-04		
Maza cañera lado espiga	1.99E-04	2.02E-04	5.90E-06	1.84E-04	1.86E-04	1.50E-06
Maza cañera lado espiga	2.08E-04			1.87E-04		
Maza superior lado espiga	2.69E-04			2.51E-04		
Maza superior lado espiga	2.78E-04	2.71E-04	6.54E-06	2.45E-04	2.48E-04	3.06E-06
Maza superior lado espiga	2.65E-04			2.47E-04		
Reductor Planetario	1.65E-03			1.62E-03		
Reductor Planetario	1.57E-03	1.60E-03	4.04E-05	1.55E-03	1.56E-03	4.95E-05
Reductor Planetario	1.58E-03			1.52E-03		
Total promedio (m^3/s)		4.23E-03			4.11E-03	
Total promedio (gpm)		67.07			65.16	

Cuadro 349. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	4.11E-04			4.57E-04		
4ta maza lado corona	4.30E-04	4.29E-04	1.72E-05	4.38E-04	4.38E-04	1.97E-05
4ta maza lado corona	4.45E-04			4.18E-04		
Maza cañera lado corona	4.80E-04			4.66E-04		
Maza cañera lado corona	4.75E-04	4.71E-04	1.14E-05	4.84E-04	4.73E-04	9.39E-06
Maza cañera lado corona	4.58E-04			4.70E-04		
Maza superior lado corona	5.29E-04			5.06E-04		
Maza superior lado corona	4.61E-04	4.78E-04	4.40E-05	5.18E-04	5.13E-04	6.42E-06
Maza superior lado corona	4.46E-04			5.15E-04		
4ta maza lado espiga	3.55E-04			3.43E-04		
4ta maza lado espiga	3.82E-04	3.68E-04	1.32E-05	3.39E-04	3.40E-04	2.64E-06
4ta maza lado espiga	3.67E-04			3.38E-04		
Maza cañera lado espiga	1.79E-04			1.95E-04		
Maza cañera lado espiga	1.83E-04	1.83E-04	4.29E-06	1.88E-04	1.91E-04	3.37E-06
Maza cañera lado espiga	1.87E-04			1.90E-04		
Maza superior lado espiga	3.53E-04			3.49E-04		
Maza superior lado espiga	3.57E-04	3.53E-04	3.74E-06	3.34E-04	3.36E-04	1.10E-05
Maza superior lado espiga	3.49E-04			3.27E-04		
Maza bagacera lado espiga	4.40E-05			4.49E-05		
Maza bagacera lado espiga	4.30E-05	4.26E-05	1.61E-06	4.00E-05	4.22E-05	2.48E-06
Maza bagacera lado espiga	4.08E-05			4.17E-05		
Reductor Planetario	9.41E-04			9.76E-04		
Reductor Planetario	9.28E-04	9.43E-04	1.62E-05	8.74E-04	9.35E-04	5.37E-05
Reductor Planetario	9.60E-04			9.55E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.27E-03			3.27E-03	
Total promedio (gpm)		51.81			51.79	

Cuadro 350. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	5.28E-04			5.48E-04		
4ta maza lado corona	5.56E-04	5.49E-04	1.79E-05	5.34E-04	5.34E-04	1.29E-05
4ta maza lado corona	5.62E-04			5.22E-04		
Maza cañera lado corona	4.75E-04			4.97E-04		
Maza cañera lado corona	5.54E-04	5.04E-04	4.32E-05	5.14E-04	5.10E-04	1.15E-05
Maza cañera lado corona	4.84E-04			5.19E-04		
Maza superior lado corona	4.86E-04			4.98E-04		
Maza superior lado corona	5.16E-04	5.10E-04	2.13E-05	4.94E-04	4.91E-04	9.65E-06
Maza superior lado corona	5.28E-04			4.80E-04		
4ta maza lado espiga	3.23E-04			3.39E-04		
4ta maza lado espiga	3.20E-04	3.22E-04	2.29E-06	3.34E-04	3.37E-04	3.21E-06
4ta maza lado espiga	3.25E-04			3.39E-04		
Maza cañera lado espiga	3.64E-04			3.59E-04		
Maza cañera lado espiga	3.63E-04	3.60E-04	6.44E-06	3.71E-04	3.69E-04	8.59E-06
Maza cañera lado espiga	3.52E-04			3.76E-04		
Maza superior lado espiga	3.70E-04			3.70E-04		
Maza superior lado espiga	3.71E-04	3.70E-04	4.19E-07	3.81E-04	3.78E-04	7.08E-06
Maza superior lado espiga	3.70E-04			3.82E-04		
Maza bagacera lado espiga	2.65E-05			3.97E-05		
Maza bagacera lado espiga	2.67E-05	2.64E-05	3.98E-07	3.96E-05	3.96E-05	7.23E-08
Maza bagacera lado espiga	2.59E-05			3.96E-05		
Reductor Planetario	9.46E-04			9.66E-04		
Reductor Planetario	9.30E-04	9.42E-04	1.03E-05	9.73E-04	9.54E-04	2.81E-05
Reductor Planetario	9.49E-04			9.22E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.58E-03			3.61E-03	
Total promedio (gpm)		56.80			57.25	

Cuadro 351. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 5, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	1.51E-04			1.63E-04		
4ta maza lado corona	1.63E-04	1.59E-04	6.80E-06	1.57E-04	1.57E-04	6.32E-06
4ta maza lado corona	1.63E-04			1.50E-04		
Maza cañera lado corona	4.68E-04			4.65E-04		
Maza cañera lado corona	4.51E-04	4.59E-04	8.87E-06	4.65E-04	4.66E-04	2.71E-06
Maza cañera lado corona	4.58E-04			4.69E-04		
Maza superior lado corona	4.70E-04			5.39E-04		
Maza superior lado corona	5.18E-04	4.59E-04	6.60E-05	5.38E-04	5.37E-04	2.68E-06
Maza superior lado corona	3.88E-04			5.34E-04		
4ta maza lado espiga	3.58E-04			3.60E-04		
4ta maza lado espiga	3.57E-04	3.57E-04	2.16E-06	3.67E-04	3.68E-04	8.96E-06
4ta maza lado espiga	3.54E-04			3.78E-04		
Maza cañera lado espiga	3.33E-04			3.49E-04		
Maza cañera lado espiga	3.43E-04	3.40E-04	5.87E-06	3.52E-04	3.48E-04	4.34E-06
Maza cañera lado espiga	3.44E-04			3.44E-04		
Maza superior lado espiga	3.32E-04			3.29E-04		
Maza superior lado espiga	3.44E-04	3.41E-04	8.48E-06	3.45E-04	3.40E-04	9.48E-06
Maza superior lado espiga	3.48E-04			3.46E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.10E-04			3.34E-04		
Maza bagacera lado espiga	3.17E-04	3.12E-04	5.04E-06	3.27E-04	3.27E-04	8.14E-06
Maza bagacera lado espiga	3.08E-04			3.18E-04		
Reductor Planetario	9.54E-04			8.94E-04		
Reductor Planetario	9.34E-04	9.29E-04	2.81E-05	9.44E-04	9.24E-04	2.61E-05
Reductor Planetario	8.99E-04			9.34E-04		
Total promedio (m^3/s)		3.36E-03			3.47E-03	
Total promedio (gpm)		53.18			54.97	

Cuadro 352. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 1

Localización sitio de muestreo	Día: 17 de febrero de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	4.24E-04			4.36E-04		
4ta maza lado corona	4.45E-04	4.30E-04	1.37E-05	4.34E-04	4.39E-04	7.06E-06
4ta maza lado corona	4.19E-04			4.47E-04		
Maza cañera lado corona	5.00E-04			4.88E-04		
Maza cañera lado corona	4.85E-04	4.97E-04	1.12E-05	4.83E-04	4.87E-04	3.31E-06
Maza cañera lado corona	5.07E-04			4.89E-04		
Maza superior lado corona	5.12E-04			5.01E-04		
Maza superior lado corona	5.10E-04	5.21E-04	1.73E-05	5.21E-04	5.18E-04	1.57E-05
Maza superior lado corona	5.41E-04			5.32E-04		
4ta maza lado espiga	4.05E-04			3.98E-04		
4ta maza lado espiga	4.26E-04	4.09E-04	1.44E-05	4.17E-04	4.12E-04	1.28E-05
4ta maza lado espiga	3.98E-04			4.22E-04		
Maza cañera lado espiga	2.90E-04			2.94E-04		
Maza cañera lado espiga	2.94E-04	2.89E-04	6.33E-06	3.04E-04	2.99E-04	4.92E-06
Maza cañera lado espiga	2.82E-04			2.99E-04		
Maza superior lado espiga	2.86E-04			3.14E-04		
Maza superior lado espiga	2.84E-04	2.89E-04	6.90E-06	3.17E-04	3.13E-04	4.64E-06
Maza superior lado espiga	2.96E-04			3.08E-04		
Reductor maza Cañera	3.24E-04			3.58E-04		
Reductor maza Cañera	2.90E-04	2.80E-04	4.99E-05	1.92E-04	2.73E-04	8.29E-05
Reductor maza Cañera	2.26E-04			2.69E-04		
Reductor maza Bagacera	1.09E-03			1.10E-03		
Reductor maza Bagacera	1.00E-03	1.07E-03	5.94E-05	9.51E-04	1.02E-03	7.50E-05
Reductor maza Bagacera	1.11E-03			1.01E-03		
Total promedio (m^3/s)		3.78E-03			3.76E-03	
Total promedio (gpm)		59.94			59.64	

Cuadro 353. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 2

Localización sitio de muestreo	Día 2: 8 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	4.23E-04			4.49E-04		
4ta maza lado corona	4.76E-04	4.52E-04	2.71E-05	4.48E-04	4.51E-04	4.15E-06
4ta maza lado corona	4.59E-04			4.56E-04		
Maza cañera lado corona	4.57E-04			4.89E-04		
Maza cañera lado corona	4.63E-04	4.68E-04	1.48E-05	5.02E-04	4.90E-04	1.22E-05
Maza cañera lado corona	4.85E-04			4.78E-04		
Maza superior lado corona	4.91E-04			5.48E-04		
Maza superior lado corona	5.71E-04	5.41E-04	4.38E-05	5.50E-04	5.51E-04	3.29E-06
Maza superior lado corona	5.62E-04			5.55E-04		
4ta maza lado espiga	5.05E-04			4.69E-04		
4ta maza lado espiga	4.50E-04	4.77E-04	2.77E-05	4.63E-04	4.67E-04	3.93E-06
4ta maza lado espiga	4.75E-04			4.70E-04		
Maza cañera lado espiga	3.40E-04			3.33E-04		
Maza cañera lado espiga	3.70E-04	3.50E-04	1.70E-05	3.39E-04	3.41E-04	9.50E-06
Maza cañera lado espiga	3.41E-04			3.52E-04		
Maza superior lado espiga	3.23E-04			3.18E-04		
Maza superior lado espiga	3.16E-04	3.15E-04	8.47E-06	3.44E-04	3.24E-04	1.72E-05
Maza superior lado espiga	3.06E-04			3.12E-04		
Reductor maza Cañera	9.92E-04			1.02E-03		
Reductor maza Cañera	1.03E-03	1.03E-03	3.44E-05	1.09E-03	1.03E-03	4.96E-05
Reductor maza Cañera	1.06E-03			9.95E-04		
Reductor maza Bagacera	6.53E-04			7.06E-04		
Reductor maza Bagacera	6.69E-04	6.69E-04	1.52E-05	5.37E-04	5.72E-04	1.20E-04
Reductor maza Bagacera	6.84E-04			4.74E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.30E-03			4.23E-03	
Total promedio (gpm)		68.17			67.07	

Cuadro 354. Caudales de efluentes de chumaceras y red. planetarios del molino 6, día 3

Localización sitio de muestreo	Día 3: 26 de marzo de 2018					
	Corrida 1			Corrida 2		
	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)	Q (m^3/s)	Q prom (m^3/s)	Desv. (m^3/s)
4ta maza lado corona	3.24E-04			3.40E-04		
4ta maza lado corona	3.13E-04	3.08E-04	1.91E-05	3.34E-04	3.38E-04	3.35E-06
4ta maza lado corona	2.87E-04			3.40E-04		
Maza cañera lado corona	4.34E-04			4.36E-04		
Maza cañera lado corona	3.94E-04	4.28E-04	3.11E-05	4.42E-04	4.43E-04	7.81E-06
Maza cañera lado corona	4.56E-04			4.51E-04		
Maza superior lado corona	4.48E-04			4.54E-04		
Maza superior lado corona	4.21E-04	4.43E-04	2.04E-05	4.69E-04	4.65E-04	9.84E-06
Maza superior lado corona	4.61E-04			4.73E-04		
4ta maza lado espiga	5.11E-04			5.14E-04		
4ta maza lado espiga	5.23E-04	5.41E-04	4.22E-05	5.43E-04	5.21E-04	1.92E-05
4ta maza lado espiga	5.89E-04			5.06E-04		
Maza cañera lado espiga	4.14E-04			3.96E-04		
Maza cañera lado espiga	4.16E-04	4.16E-04	1.73E-06	3.99E-04	3.97E-04	2.27E-06
Maza cañera lado espiga	4.18E-04			3.95E-04		
Maza superior lado espiga	3.96E-04			3.99E-04		
Maza superior lado espiga	3.76E-04	3.85E-04	9.95E-06	4.07E-04	4.08E-04	1.06E-05
Maza superior lado espiga	3.85E-04			4.20E-04		
Reductor maza Cañera	1.02E-03			1.27E-03		
Reductor maza Cañera	1.37E-03	1.25E-03	1.95E-04	1.28E-03	1.26E-03	2.15E-05
Reductor maza Cañera	1.36E-03			1.24E-03		
Reductor maza Bagacera	5.68E-04			7.40E-04		
Reductor maza Bagacera	5.80E-04	6.42E-04	1.18E-04	6.77E-04	7.06E-04	3.19E-05
Reductor maza Bagacera	7.78E-04			7.01E-04		
Total promedio (m^3/s)		4.41E-03			4.54E-03	
Total promedio (gpm)		69.96			71.96	

El agua se recupera a través de tuberías y estas se envían a un tanque recolector general para el área del tándem “A”. Se observó que existe desviación de agua en el área de chumaceras (lado corona y lado espiga) y que esta agua se desecha al suelo directamente, el resto del agua que logra llegar al tanque recolector una parte del agua se envía a patio de caña “A”, otra al enfriador de melaza y el resto se descarta directamente al suelo.

a. Propiedades químicas

Cuadro 355. Propiedades químicas calculadas para los efluentes de tándem "A"

Área	Día 1		Día 2	
	Dureza (±0.05 mg/L)	TSS (±0.05 ppm)	Dureza (±0.05 mg/L)	TSS (±0.05 ppm)
Reductores Molino 1	107.10	10.00	116.03	17.69
Reductores Molino 2	107.10	16.67	124.95	14.43
Reductores Molino 3	108.89	25.00	116.03	28.06
Reductores Molino 4	108.89	30.77	107.10	29.93
Reductores Molino 5	108.89	35.00	124.95	32.14
Reductores Molino 6	127.63	24.00	133.87	28.52
Chumacera lado corona M1	107.10	17.72	89.25	14.14
Chumacera lado corona M2	107.10	14.62	124.95	12.79
Chumacera lado corona M3	107.99	18.46	124.95	24.24
Chumacera lado corona M4	107.10	13.33	133.88	15.54
Chumacera lado corona M5	107.10	33.33	116.02	31.08
Chumacera lado corona Molino 6	108.89	24.00	107.10	28.52
Chumacera lado espiga Molino 1	107.10	17.50	116.02	15.71
Chumacera lado espiga Molino 2	108.89	21.11	107.10	27.41
Chumacera lado espiga Molino 3	107.10	14.55	124.95	16.16
Chumacera lado espiga Molino 4	108.88	20.00	133.88	24.24
Chumacera lado espiga Molino 5	107.10	31.82	107.10	29.46
Chumacera lado espiga Molino 6	105.32	12.00	120.49	11.02
Reductor planetario Molino 1	132.09	31.82	135.66	35.35
Sistema Hidráulico Molino 2	132.09	36.36	142.80	31.08
Reductor planetario Molino 3 y 4	129.41	29.17	142.80	32.14
Reductor Planetario Molino 5	128.52	15.00	116.02	11.65
Reductor Planetario Molino 6	131.97	18.33	142.80	20.20
PROMEDIO	113.58	22.20	122.12	23.11

Cuadro 356. Propiedades químicas tomadas del tanque recolector de tándem "A"

Fuente	Día	Temperatura (°C)	pH	Dureza (mg/L)	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (ppm)	Grasas y aceites
Tanque	Día 1: 02/04/2018	25.00	8.50	113.40	212.00	97.30	Sin presencia
	Día 2: 04/04/2018	25.00	8.30	124.10	199.70	92.30	Sin presencia
Promedio		25.00	8.40	118.75	205.85	94.80	Sin presencia

Con los caudales medidos e identificados que llegan a recolectarse en el tanque del tándem "A" de molinos, se realizó una proporción de cuánta agua proviene del Río Provincias y cuanta de los pozos, se determinó que esta es de 70% y 30% respectivamente. Luego se empleó esta información para realizar un

promedio ponderado de las propiedades fisicoquímicas de la mezcla de agua y así tomar esta información como referencia para análisis siguientes.

Cuadro 357. Promedio ponderado de la mezcla de agua de los días de medición.

Medición	Temperatura (˚C)	pH	Conductividad (µs/cm)	Salinidad (ppm)	Dureza total (mg/L)
Día 1	21.85	8.36	220.3	101.69	116.39
Día 2	21.50	8.41	203.6	92.70	117.81
Día 3	22.25	8.45	216.7	99.01	124.85
Promedio	21.87	8.41	213.5	97.80	119.68
Desviación	0.71	0.11	8.75	4.62	5.52

b. Costos de inversión para las propuestas de recirculación de agua

Cuadro 358. Comparación de costos para las dos propuestas planteadas

Rubro	Porcentaje	Propuesta 1		Propuesta 2	
		Monto		Monto	
Total Enviado	100%	Q	154,543.45	Q	152,761.59
Instalación	20%	Q	30,908.69	Q	30,552.32
Eléctrico	7%	Q	10,818.04	Q	10,693.31
Instrumentos	2%	Q	3,090.87	Q	3,055.23
Contingencia	5%	Q	7,727.17	Q	7,638.08
Excavación	25%		0	Q	38,190.40
Total instalación		Q	207,088.22	Q	242,890.93
Costos de operación para una zafra		Q	64,936.11	Q	64,936.11
Total inversión año 0		Q	272,024.33	Q	307,827.04

Cuadro 359. Costos de mantenimiento para los equipos de las propuestas planteadas.

Rubro	%	Propuesta 1		Propuesta 2	
Costo equipo		Q	188,063.61	Q	152,761.59
Costo mantenimiento	6%	Q	11,283.82	Q	9,165.70

c. Selección de bomba

Cuadro 360. Datos obtenidos para el cálculo de bomba en diferentes sistemas.

Rubro	Ubicación	Sistema	
		Aéreo	Subterráneo
Caudal (m^3/s)		0.022	0.022
Diámetro nominal	Tubería	0.1524 m (6 in)	0.1524 m (6 in)
Velocidad (m/s)	Fluido	1.22	1.22
No. Reynolds	Fluido	18744.33	18744.33
Trayecto	Tuberías	63.3984	59.7408
Pérdidas	Por superficie (m^2/s^2)	41.45	36.87
	Por accesorios (m^2/s^2)	9.36	7.13
	Por expansión (m^2/s^2)	0.23	0.23
	Por contracción (m^2/s^2)	0.22	0.22
Bernoulli	Presión A (Pa)	110032.30	110032.30
	Presión B (Pa)	102200.00	124717.87
	Z_a (m)	0.00	0.00
	Z_b (m)	2.80	1.50
	Cabeza total (m)	7.22	6.66
NPSH	Requerido (m)	1.62	1.62
	Disponible (m)	5.19	6.75

*En donde a es a la entrada de la bomba y b a la salida

d. Costos

Cuadro 361. Costos de instalación de sistema de recirculación propuesto en general.

Ítem	Factor	Monto
Costo planta con IVA	-	Q 1,463,867.60
Instalación	20%	Q 292,773.52
Eléctrico	7%	Q 95,151.39
Instrumentos	7%	Q 95,151.39
Excavación y preparación	8%	Q 109,790.07
Contingencia	20%	Q 285,454.18
Costo inversión inicial		Q 2,342,188.15

*Tabla 9-53 Estimación usando factores

Cuadro 362. Costos de operación para el sistema de recirculación general propuesto

No.	ITEM	Consumo de potencia (kW)	Costo por Zafra
1	Bomba de 3x4x8 Hierro	3.73	Q 7,666.99
2	Bomba de 1.5x3-8 STi	1.49	Q 3,066.80
3	Bomba de 2x3-6	1.49	Q 3,066.80
4	Bomba 2x3-8 MTi Hierro	2.24	Q 4,600.19
5	Bomba 4x6-10G Hierro	5.59	Q 11,500.48
6	Bomba 3X4-10H A40 Hierro	10.81	Q 22,234.27
7	Bomba 3x4-8 Mti hierro	5.22	Q 10,733.78
	Total costos de operación por zafra		Q 93,537.27

Cuadro 363. Costos de transporte y envío de equipo de bombas traídas desde Miami

Rubro	Porcentaje	Valor
Costo total de equipo ExW	-	Q 614,051.73
Flete Miami - Guatemala	8%	Q 49,124.14
Flete Guatemala - Ingenio	2%	Q 12,281.03
Sub total	-	Q 675,456.90
IVA	12%	Q 81,054.83
Arancel	0%	Q -
Total equipo en Guatemala	-	Q 756,511.73
Otros	1%	Q 7,565.12
Total, equipo puesto en el ingenio		Q 764,076.85

Cuadro 364. Costos de transporte de torre de enfriamiento traído desde México

Rubro	Porcentaje	Valor
Costo torre ExW	-	Q 300,950.73
Flete México - Guatemala	10%	Q 30,095.07
Flete Guatemala - Ingenio	8%	Q 24,076.06
Sub total	-	Q 355,121.86
IVA	12%	Q 42,614.62
Arancel	0%	Q -
Total equipo en Guatemala	-	Q 397,736.48
Otros	1%	Q 3,977.36
Total equipo puesto en el ingenio	-	Q 401,713.85

Cuadro 365. Estimación de precio de bombeo de agua de pozos y río Provincias

Bombas	Consumo potencia (kW)	Precio kW (Q)	Monto	Mantenimiento	Total por bomba
Bomba pozo de hotel	54.25	Q 0.54	Q 111,555.36	Q 10,000.00	Q 121,555.36
Bomba pozo No. 4	110.25	Q 0.54	Q 226,709.28	Q 10,000.00	Q 236,709.28
Bomba de parábolas	85.76	Q 0.54	Q 176,350.00	Q 10,000.00	Q 186,350.00
Subtotal					Q 544,614.64
Imprevistos 10%					Q 54,461.46
Total					Q 599,076.11

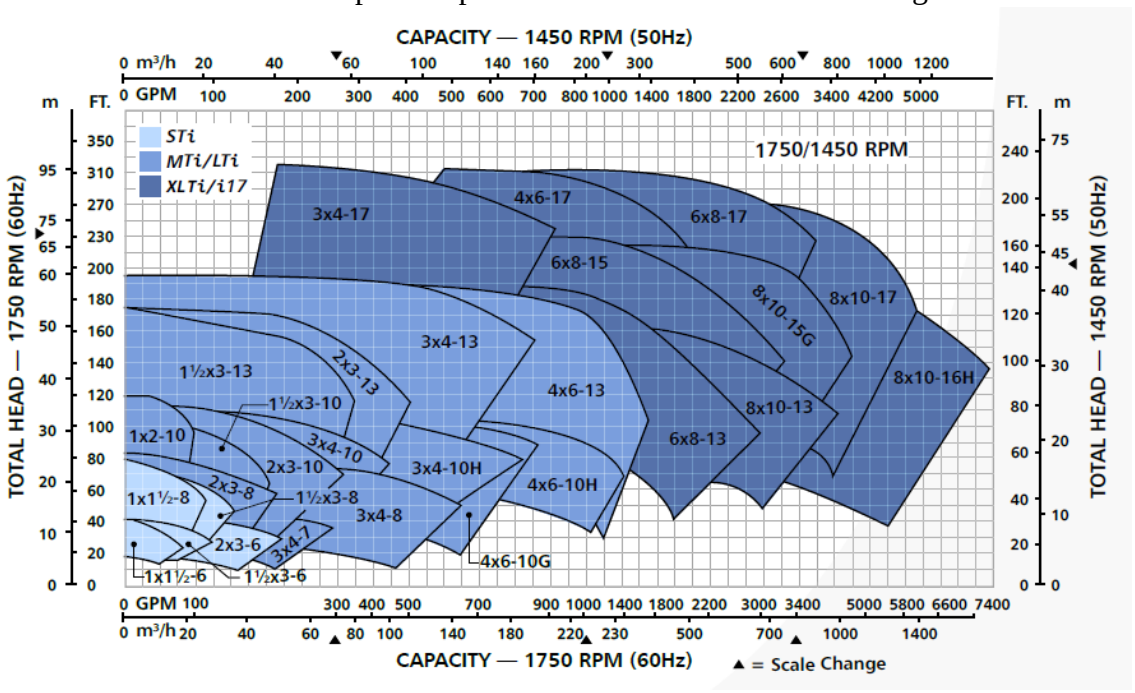
*Tipo de cambio 7.65 según banguat al 13/09/2018

*El mantenimiento es del tipo preventivo y se realiza 1 vez al año

Cuadro 366. Precio por metro cúbico de agua para el período de zafra 2017-18

Rubro	Cantidad
Costo bombeo de agua	Q 599,076.11
Agua usada en una zafra (m³)	2093180.314
Precio por m³ de agua	Q 0.29

7. Curvas características empleadas para la selección de bomba centrífuga



F. FICHAS DE ESPECIFICACIONES

1. Manuales

Anexo 1. Test de dureza utilizado para el análisis de los efluentes.

Diciembre 2013

1.08047.0001

MColortest™

Test Dureza total

1. Definición

La dureza (dureza total) de un agua está condicionada por su contenido en sales de los metales alcalinotérreos calcio, magnesio, estroncio y bario ("formadores de dureza"). Como en el agua el estroncio y el bario en general solamente se encuentran en trazas, se define la dureza como el contenido de un agua en iones calcio, Ca^{2+}, e iones magnesio, Mg^{2+} ("iones de dureza"). Es usual que la indicación de la dureza del agua se refiera solamente al calcio, esto es, que también el contenido en iones magnesio se exprese como contenido en calcio.

Las unidades para la dureza del agua se refieren al calcio o a sus compuestos CaO (1 °d ≙ 10 mg/l de CaO) o $CaCO_3$ (1 °e ≙ 14,25 mg/l de $CaCO_3$; **1 °f ≙ 10 mg/l de $CaCO_3$**), donde el contenido en magnesio se expresa y se incluye en el cálculo como contenido en calcio.

2. Método

Determinación volumétrica con pipeta de valoración
Los iones calcio y magnesio forman con un indicador un complejo de color rojo. A partir de este se libera el indicador al valorar con una solución de dihidrato de la sal disódica del ácido etilendinitrilotetraacético (Titriplex® III). En el punto final de la valoración tiene lugar un viraje a verde. La dureza total se deduce del consumo de solución valorante.

3. Intervalo de medida y número de determinaciones

Intervalo de medida [1],[2]	Graduación de la pipeta de valoración	Número de determinaciones [3]
0,18 - 10 °f (0,1 - 5,6 °d)	0,18 °f (0,1 °d)	300 a 5,4 °f (3 °d)
1 - 100 mg/l de $CaCO_3$	1 mg/l de $CaCO_3$	a 53,5 mg/l de $CaCO_3$

[1] con 1 carga de pipeta
[2] factores de conversión, ver apartado 9
[3] En caso de valores de dureza total superiores a 5,4 °f, el número de determinaciones posibles es inferior a 300 (ver apartado 11).

4. Campo de aplicaciones

Material de las muestras:
Aguas subterráneas y superficiales, agua de mar
Aguas potables y minerales
Aguas de la acuicultura
Agua de piscinas
Agua de calderas

5. Influencia de sustancias extrañas

Cadmio, cinc, cobalto, cobre, hierro, mercurio y níquel interfieren en la determinación.

6. Reactivos y auxiliares

Los reactivos del test son utilizables hasta la fecha indicada en el envase si se conservan cerrados entre +15 y +25 °C.

Contenido del envase:
2 frascos de reactivo H-1 (solución indicadora)
2 frascos de reactivo H-2 (solución valorante)
1 jeringa de plástico graduada de 5 ml
1 recipiente de ensayo
1 pipeta de valoración
1 tarjeta con modo de empleo abreviado

Otros reactivos:
MColorpHast™ Tiras indicadoras universales pH 0 - 14, art. 109535
Sodio hidróxido en solución 1 mol/l TitriPUR®, art. 109137
Ácido clorhídrico 1 mol/l TitriPUR®, art. 109057
MQuant™ Tests Dureza total:
art. 110025, intervalo de medida <5 - >37 °f o
art. 110046, intervalo de medida >9 - >45 °f
MColortest™ Test Dureza total, art. 108039,
intervalo de medida 0,36 - 35,6 °f (con 1 carga de pipeta)
Calcio cloruro dihidrato para análisis EMSURE®, art. 102382

Envase de repuesto:
Art. 108040
MColortest™ Test Dureza total
Envase de repuesto para 108047
(reactivos **sin accesorios técnicos** para 300 determinaciones a 5,4 °f)

7. Preparación

- **El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 6 - 8.**
  Si es necesario, ajustar con solución de hidróxido sódico o con ácido clorhídrico.
- Comprobar la dureza total con el test Dureza total MQuant™.
  Las muestras con elevada dureza de agua deberían determinarse con el test Dureza total MColortest™ art. 108039.

Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany,
Tel. +49(0)6151 72-2440
www.analytical-test-kits.com

EMD Millipore Corporation, 290 Concord Road,
Billerica, MA 01821, USA, Tel. +1-978-715-4321

8. Técnica

Determinación de la dureza total:

Enjuagar varias veces el recipiente de ensayo con la muestra preparada.		
Muestra preparada (15 - 30 °C) Reactivo H-1	5 ml 3 gotas [1]	Introducir con la jeringa en el recipiente de ensayo. Añadir y agitar por balanceo. En presencia de formadores de dureza la muestra se colorea de rojo.
Colocar la pipeta de valoración **suelta** sobre el frasco de reactivo H-2 abierto. Tirar **lentamente** del émbolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde **inferior** de la junta negra del émbolo coincida con la raya de marcado cero de la escala. (Aquí se llena **solamente el tubo cuentagotas** con solución valorante.) Sacar la pipeta de valoración y rozar brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso de líquido adherido. **Lentamente y agitando por balanceo** gotear luego la solución de valoración a la muestra, hasta que su color vire de **rojo** a **verde** pasando por **violeta grisáceo** (poco antes del viraje). Poco antes de llegar al viraje de color esperar unos segundos después de cada gota. En el borde **inferior** de la junta negra del émbolo leer el valor de medición en °d o en mg/l de $CaCO_3$ en la correspondiente escala de la pipeta de valoración.		

[1] **¡Mantener el frasco verticalmente durante la adición del reactivo!**

Notas sobre la medición:

- ¡Al llenarla, la pipeta de valoración no debe estar firmemente enroscada con el frasco de reactivo!
- Después de acabado el análisis hacer retroceder, presionando, la restante solución de valoración desde la pipeta de valoración al frasco de reactivo H-2 y **enroscar firmemente la pipeta, en lugar de la tapa roscada, sobre el frasco de reactivo.**

Determinación de la dureza residual:

Enjuagar varias veces el recipiente de ensayo con la muestra preparada.		
Muestra preparada (15 - 30 °C) Reactivo H-1	5 ml 3 gotas [1]	Introducir con la jeringa en el recipiente de ensayo. Añadir y agitar por balanceo.
En función de la dureza residual la solución de medición se colorea de verde: 0 °f violeta grisáceo: 0,2 °f violeta rojizo: 0,9 °f rojo: >0,9 °f		

[1] **¡Mantener el frasco verticalmente durante la adición del reactivo!**

9. Conversiones

buscado / dado	mmol/l de $CaCO_3$ (de Ca)	mg/l de $CaCO_3$	mg/l de Ca	grado francés °f	grado inglés °e	grado alemán °d
1 mmol/l de $CaCO_3$ (de Ca)	1	100,1	40,08	10,01	7,02	5,61
1 mg/l de $CaCO_3$	0,010	1	0,400	0,100	0,070	0,056
1 mg/l de Ca	0,025	2,50	1	0,250	0,175	0,140
1 grado francés °f	0,100	10,00	4,00	1	0,702	0,560
1 grado inglés °e	0,142	14,25	5,71	1,43	1	0,799
1 grado alemán °d	0,178	17,85	7,15	1,78	1,25	1

10. Control del procedimiento

Comprobación de los reactivos del test, del dispositivo de medición y de la manipulación:
Disolver 3,67 g de dihidrato de cloruro cálcico en agua destilada, completar con ésta a 1000 ml y mezclar. Contenido de Ca: 1000 mg/l (≙ 250 °f).
Diluir esta solución patrón con agua destilada a 20 mg/l de Ca (≙ 5,0 °f ≙ 50 mg/l de $CaCO_3$) y analizar como se describe en el apartado 8.
Notas adicionales, ver bajo **www.qa-test-kits.com.**

11. Notas

- Cerrar de nuevo inmediatamente los frascos tras la toma de los reactivos.
- Guardar el frasco de reactivo H-2 (solución valorante) **con la pipeta de valoración firmemente enroscada** en posición horizontal en la cavidad prevista del envase.
- Enjuagar el recipiente de ensayo y la jeringa **solamente con agua destilada.**
- En determinaciones volumétricas el consumo de solución valorante depende de la concentración de la substancia a determinar (aquí: los iones de dureza). Las cantidades de solución indicadora y solución valorante contenidas en los frascos de reactivos están calculadas para que sean suficientes para 300 determinaciones de 5,4 °f cada una. Para aguas más blandas o más duras vale lo siguiente:

Dureza °f	Número de determinaciones	Solución indicadora	Solución valorante
0,18 - 5,4	300	es consumida	Queda un resto.
>5,4	<300	Queda un resto.	Insuficiente para 300 determinaciones

- **Podrá pedirse información sobre los procedimientos de eliminación en www.disposal-test-kits.com.**

Anexo 2. Manual del multiparámetro utilizado para los análisis de salinidad, conductividad y pH.

INSTRUCTION MANUAL
MULTI-PARAMETER TESTR 35 SERIES
pH / Conductivity / TDS / Salinity / Temperature

EUTECH INSTRUMENTS OAKTON

Part of Thermo Fisher Scientific 68X441601 Rev. 1 March 2010

Thank you for selecting our Multi-Parameter Testr. This manual serves the following (3) models:

- **PCTestr 35** (Eutech PCTEST35-01X441504 / Oakton 35425-00)
  pH / Conductivity / Temperature
- **PTTestr 35** (Eutech PCTEST35-01X441505 / Oakton 35425-05)
  pH / Total Dissolved Solids / Temperature
- **PCSTestr 35** (Eutech PCSTEST35-01X441506 / Oakton 35425-10)
  pH / Conductivity / Total Dissolved Solids / Salinity / Temperature

Getting Started:

Your instrument has been factory calibrated and usually works well out of the box. However, after extended periods of non-use, it's best to remove the sensor cap and soak the sensor (pictured here) in warm tap water or pH buffer for 10 minutes or so. A brief rinse with deionized (DI) water is OK, but avoid soaking or storing in deionized water as this will shorten the pH electrode life. Prior to taking measurements, periodic calibration with certified standards is recommended for best accuracy.

Your Testr begins in the measuring mode that was previously used. Just prior to measurement or when switching modes, you will see the setting associated with each parameter i.e.) pH (buffer group selected), Conductivity (Auto), TDS (factor), Salinity (unit of measure).

Setup:

Your Testr allows customization of various settings. **To access the setup mode:**

1. With the Testr off, keep the MODE/EDIT pressed down while you press and release ON/OFF. SEtUP (Setup) will appear, then as you release MODE/EDIT, PArA (Parameter) will appear.
2. Press ▼ or ▲ to choose PArA (Parameter Setup) or SYSt (System Setup) menu.
3. Press MODE/EDIT to enter the selected setup menu.

IMPORTANT **It is necessary to save your Parameter and System changes in order for them to take effect.**

1. When you are finished making your desired changes, press both ▼ and ▲ at the same time and keep them pressed until you see "SA" (Save) on the display.
2. With the primary display "SA" and secondary display "YES", press MODE/EDIT to save the changes. The instrument will resume measurement mode with new setting(s).

SA
YES

Note: If auto-shut off is used, changes will be automatically saved 8.5 minutes after the last change was made.

Parameter Setup: Select PArA to make changes relating to the parameters – pH, Conductivity TDS, Salinity. Note: only the PCS Testr will have all of these options. See below for menus available from each parameter. To Navigate the menus:

- Press MODE/EDIT to select or confirm the displayed option.
- Press ▼ or ▲ to scroll thru options or change values.

pH Options:

- **USA** or **NIST** Buffer Group for calibration buffer option.
  - **5-pt** calibration (all points) or **3-pt** calibration (middle three points only).

Salinity (SALt) Option (PCS Testr only)

- Choose **PPt** (parts per thousand) or **Per** (percentage %) as unit of measure.

Total Dissolved Solids (tDS) Option (PT and PCS Tester only)

- **FACt** factor the instrument uses to convert from conductivity to TDS value. Adjustable from **0.40 to 1.00** (default factor is 0.71).

Conductivity Options (PC and PCS Tester only)

- **A.Cal** (Automatic Calibration) Choose **YES** or **NO** (manual).

TIP: The PC Testr 35 and PCS Testr 35 are capable of automatic or manual conductivity calibration. In automatic calibration mode, the meter will automatically choose one of (3) conductivity calibration standards depending on the ranges listed below. If you will only use 84 µS, 1413 µS, or 12.88 mS calibration standards, automatic calibration is a time saving option. If you intend to calibrate with one or more standards that are **not** listed below, choose "NO" which will disable auto calibration and allow you to enter your desired value manually.

Conductivity Range	Automatic Calibration Value	Available with
0.0 – 200.0 µS	84 µS	PCS only
201 – 2000 µS	1413 µS	PC or PCS
2.01 – 20.00 mS	12.88 mS	PC or PCS

- **SPC** (Single-Point Calibration) Choose **YES** or **NO** (multi-point calibration).

TIP: The PC Testr 35 and PCS Testr 35 are capable of single or multi-point conductivity calibration. Use Single-Point Calibration to apply a single calibration value across all ranges. Use Multi-Point Calibration for individual calibration in each range. This will restrict an individual calibration so that it is applied to one range only. When using multi-point calibration, perform a calibration in each range that you expect to use for best results.

System Setup:

Select SYSt to make changes relating to the system. See below for available menus. Note: other than changing Temperature units, it is advised to keep the factory default settings for best results. To Navigate the System menus:

- Press MODE/EDIT to select or confirm the displayed option.
- Press ▼ or ▲ to scroll thru menu options or change values.
- **Unit rSt** (Instrument reset)
  - **PH** (pH) or **EC** (electrical conductivity / TDS / Salinity)
  - **CAL** (calibration reset) or **FCt** (Reset to factory default settings)
- **Set A.Off** (Automatic shut off after 8.5 minutes) Choose **YES** or **NO**.
- **Set t.C** (Temperature Coefficient) **0.0-10.0%** (2.1% is default)
- **Set AtC** (Auto Temperature Compensation) Choose **YES** or **NO** (25°C is used).
- **Set °C °F** (select temperature units) Choose **°Celsius** or **°Fahrenheit**.

Temperature Calibration:

The factory temperature calibration should last for the life of the original sensor since it doesn't normally drift. Temperature calibration is always recommended upon sensor replacement. It may also be desirable to adjust the temperature to match a certified accurate thermometer or another Testr. The temperature value is common to all parameters so only one calibration is needed. To perform temperature calibration:

1. Press ON/OFF to turn on meter. Place the reference thermometer and your Testr into the same sample. Allow enough time for both to stabilize.
2. Press MODE/EDIT as needed to select the pH measuring mode. Press ▲ to begin pH calibration mode.
3. Press HOLD for 5 seconds to begin temperature calibration mode. The current temperature will be displayed on top while the factory default temperature is below.
4. Press ▼ or ▲ to manually adjust to the desired temperature—up to ± 5° C or ± 9° F of the factory default value.
5. Press MODE/EDIT to confirm and return to the pH measuring mode.

pH Calibration:

For best results, calibrate with certified accurate pH calibration standards (buffers). You may calibrate up to five points with the USA (1.68, 4.01, 7.00, 10.01, 12.45) or the NIST (1.68, 4.01, 6.86, 9.18, 12.45) buffer group.

1. Press ON/OFF to turn meter on and MODE/EDIT to select pH mode as needed.
2. Rinse the sensor with clean water. Immerse the sensor into your pH buffer and press ▲ CAL. The primary display will show the un-calibrated pH value, while the secondary display should search for and lock on the closest automatic calibration value.
3. Allow the primary display to stabilize, then press MODE/EDIT to confirm the calibration value. The primary value will blink briefly before the secondary value automatically scrolls thru the remaining pH buffers available for calibration.
4. Repeat steps 2 & 3 with additional buffers or press ▲ CAL to return to measurement mode.

2. Información adicional utilizada

A continuación, se incluyen las referencias de Cameron Hydraulic Data y McCabe utilizadas para los cálculos, las fichas técnicas y cotizaciones.

Figura 101. Pérdidas por fricción para flujo turbulento causados por válvulas y accesorios

Tipo de accesorio o válvula	*Pérdida por fricción, número de cargas de velocidad* K_f	*Pérdida por fricción, longitud equivalente de tubería recta en diámetros de tubería* L_e/D
Codo, 45°	0.35	17
Codo, 90°	0.75	35
Te	1	50
Retorno en U	1.5	75
Manguitos de acoplamiento	0.04	2
Manguitos de unión	0.04	2
Válvulas de compuerta		
Abiertas	0.17	9
Semiabiertas	4.5	225
Válvulas de globo		
Abiertas	6.0	300
Semiabiertas	9.5	475
Válvulas de ángulo, abiertas	2.0	100
Válvula de retención		
De bola	70.0	3500
De bisagra	2.0	100
Medidor de agua, disco	7.0	350

Tomado de: (McCabe, 2007)

Friction of Water New Steel Pipe
(Based on Darcy's Formula)

¼ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80		
	0.364" inside dia			0.302" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head-ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head-ft	**Head loss ft per 100 ft**
0.4	1.23	0.024	**3.7**	1.79	0.05	**9.18**
0.6	1.85	0.053	**7.6**	2.69	0.11	**19.0**
0.8	2.47	0.095	**12.7**	3.59	0.20	**32.3**
1.0	3.08	0.148	**19.1**	4.48	0.31	**48.8**
1.2	3.70	0.213	**26.7**	5.38	0.45	**68.6**
1.4	4.32	0.290	**35.6**	6.27	0.61	**91.7**
1.6	4.93	0.378	**45.6**	7.17	0.80	**118.1**
1.8	5.55	0.479	**56.9**	8.07	1.01	**147.7**
2.0	6.17	0.591	**69.4**	8.96	1.25	**180.7**
2.4	7.40	0.850	**98.1**	10.75	1.79	**256**
2.8	8.63	1.157	**132**	12.54	2.44	**345**

⅜ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80		
	0.493" inside dia			0.423" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head-ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head-ft	**Head loss ft per 100 ft**
0.5	0.84	0.011	**1.26**	1.14	0.02	**2.63**
1.0	1.68	0.044	**4.26**	2.28	0.08	**9.05**
1.5	2.52	0.099	**8.85**	3.43	0.18	**19.0**
2.0	3.36	0.176	**15.0**	4.57	0.32	**32.4**
2.5	4.20	0.274	**22.7**	5.71	0.51	**49.3**
3.0	5.04	0.395	**32.0**	6.85	0.73	**69.6**
3.5	5.88	0.538	**42.7**	8.00	0.99	**93.3**
4.0	6.72	0.702	**55.0**	9.14	1.30	**120**
5.0	8.40	1.097	**84.2**	11.4	2.0	**185**
6.0	10.08	1.58	**119**	13.7	2.9	**263**

Calculations on pages 3-12 to 3-34 are by Ingersoll-Rand Co.

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Friction of Water New Steel Pipe *(Continued)*
(Based on Darcy's Formula)

½ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160		
	.622" inside dia			.546" inside dia			.464" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
0.7	0.739	.008	**0.74**	.96	.01	**1.39**			
1.0	1.056	.017	**1.86**	1.37	.03	**2.58**	1.90	.056	**1.68**
1.5	1.58	.039	**2.82**	2.06	.07	**5.34**	2.85	.126	**5.73**
2.0	2.11	.069	**4.73**	2.74	.12	**9.02**	3.80	.224	**12.0**
2.5	2.64	.108	**7.10**	3.43	.18	**13.6**	4.74	.349	**20.3**
3.0	3.17	.156	**9.94**	4.11	.26	**19.1**	5.69	.503	**30.8**
3.5	3.70	.212	**13.2**	4.80	.36	**25.5**	6.64	.684	**43.5**
4.0	4.22	.277	**17.0**	5.48	.47	**32.7**	7.59	.894	**58.2**
4.5	4.75	.351	**21.1**	6.17	.59	**40.9**	8.54	1.13	**75.0**
5.0	5.28	.433	**25.8**	6.86	.73	**50.0**	9.49	1.40	**94.0**
5.5	5.81	.524	**30.9**	7.54	.88	**59.9**	10.44	1.69	**115**
6.0	6.34	.624	**36.4**	8.23	1.05	**70.7**	11.38	2.01	**138**
6.5	6.86	.732	**42.4**	8.91	1.23	**82.4**	12.33	2.36	**163**
7.0	7.39	.849	**48.8**	9.60	1.43	**95.0**	13.28	2.74	**190**
7.5	7.92	.975	**55.6**	10.3	1.6	**109**	14.23	3.14	**220**
8.0	8.45	1.109	**63.0**	11.0	1.9	**123**			
8.5	8.98	1.25	**70.7**	11.6	2.1	**138**			
9.0	9.50	1.40	**78.9**	12.3	2.4	**154**			
9.5	10.03	1.56	**87.6**	13.0	2.6	**171**			
10	10.56	1.73	**96.6**	13.7	2.9	**189**			

¾ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Steel—schedule 160		
	.824" inside dia			.742" inside dia			.612" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
1.5	0.90	.013	**0.72**	1.11	.02	**1.19**	1.64	.042	**3.05**
2.0	1.20	.023	**1.19**	1.48	.03	**1.99**	2.18	.074	**5.12**
2.5	1.50	.035	**1.78**	1.86	.05	**2.97**	2.73	.115	**7.70**
3.0	1.81	.051	**2.47**	2.23	.08	**4.14**	3.27	.166	**10.8**
3.5	2.11	.069	**3.26**	2.60	.11	**5.48**	3.82	.226	**14.3**
4.0	2.41	.090	**4.16**	2.97	.14	**7.01**	4.36	.295	**18.4**
4.5	2.71	.114	**5.17**	3.34	.17	**8.72**	4.91	.374	**22.9**
5.0	3.01	.141	**6.28**	3.71	.21	**10.6**	5.45	.462	**28.0**
6	3.61	.203	**8.80**	4.45	.31	**14.9**	6.54	.665	**39.5**
7	4.21	.276	**11.7**	5.20	.42	**19.9**	7.64	.905	**53.0**
8	4.81	.360	**15.1**	5.94	.55	**25.6**	8.73	1.18	**68.4**
9	5.42	.456	**18.8**	6.68	.69	**32.1**	9.82	1.50	**85.8**
10	6.02	.563	**23.0**	7.42	.86	**39.2**	10.91	1.85	**105**
11	6.62	.681	**27.6**	8.17	1.04	**47.0**	12.00	2.23	**126**
12	7.22	.722	**32.5**	8.91	1.23	**55.5**	13.09	2.66	**149**
13	7.82	.951	**37.9**	9.63	1.44	**64.8**	14.18	3.13	**175**
14	8.42	1.103	**43.7**	10.4	1.7	**74.7**	15.27	3.62	**202**
16	9.63	1.44	**56.4**	11.9	2.2	**96.7**	17.45	4.73	**261**
18	10.8	1.82	**70.8**	13.4	2.8	**121**			
20	12.0	2.25	**86.8**	14.8	3.4	**149**			

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Figura 102. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data

Friction of Water New Steel Pipe *(Continued)*
(Based on Darcy's Formula)
1 Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160 steel		
	1.049" inside dia			.957" inside dia			.815" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
2	0.74	.009	**.385**	.89	.01	**.599**	1.23	.023	**1.26**
3	1.11	.019	**.787**	1.34	.03	**1.19**	1.85	.053	**2.60**
4	1.48	.034	**1.270**	1.79	.05	**1.99**	2.46	.094	**4.40**
5	1.86	.054	**1.90**	2.23	.08	**2.99**	3.08	.147	**6.63**
6	2.23	.077	**2.65**	2.68	.11	**4.17**	3.69	.211	**9.30**
8	2.97	.137	**4.50**	3.57	.20	**7.11**	4.92	.376	**15.9**
10	3.71	.214	**6.81**	4.46	.31	**10.8**	6.15	.587	**24.3**
12	4.45	.308	**9.58**	5.36	.45	**15.2**	7.38	.845	**34.4**
14	5.20	.420	**12.8**	6.25	.61	**20.4**	8.61	1.15	**46.2**
16	5.94	.548	**16.5**	7.14	.79	**26.3**	9.84	1.50	**59.7**
18	6.68	.694	**20.6**	8.03	1.00	**32.9**	11.07	1.90	**74.9**
20	7.42	.857	**25.2**	8.92	1.24	**40.3**	12.30	2.35	**91.8**
22	8.17	1.036	**30.3**	9.82	1.50	**48.4**	13.53	2.84	**110**
24	8.91	1.23	**35.8**	10.7	1.8	**57.2**	14.76	3.38	**131**
26	9.65	1.45	**41.7**	11.6	2.1	**66.8**	15.99	3.97	**153**
28	10.39	1.68	**48.1**	12.5	2.4	**77.1**			
30	11.1	1.93	**55.0**	13.4	2.8	**88.2**			
35	13.0	2.62	**74.1**	15.6	3.8	**119**			
40	14.8	3.43	**96.1**	17.9	5.0	**154**			
45	16.7	4.33	**121**	20.1	6.3	**194**			

1¼ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160—steel		
	1.380" inside dia			1.278" inside dia			1.160" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
4	.858	.011	**.35**	1.00	.015	**.51**	1.21	.023	**.806**
5	1.073	.018	**.52**	1.25	.024	**.75**	1.52	.036	**1.20**
6	1.29	.026	**.72**	1.50	.034	**1.04**	1.82	.051	**1.61**
7	1.50	.035	**.95**	1.75	.048	**1.33**	2.13	.070	**2.14**
8	1.72	.046	**1.20**	2.00	.062	**1.69**	2.43	.092	**2.73**
10	2.15	.072	**1.74**	2.50	.097	**2.55**	3.04	.143	**4.12**
12	2.57	.103	**2.45**	3.00	.140	**3.57**	3.64	.206	**5.78**
14	3.00	.140	**3.24**	3.50	.190	**4.75**	4.25	.280	**7.72**
16	3.43	.183	**4.15**	4.00	.249	**6.10**	4.86	.366	**9.92**
18	3.86	.232	**5.17**	4.50	.315	**7.61**	5.46	.463	**12.4**
20	4.29	.286	**6.31**	5.00	.388	**9.28**	6.07	.572	**15.1**
25	5.36	.431	**9.61**	6.25	.607	**14.2**	7.59	.894	**23.2**
30	6.44	.644	**13.6**	7.50	.874	**20.1**	9.11	1.29	**32.9**
35	7.51	.876	**18.2**	8.75	1.19	**27.0**	10.63	1.75	**44.2**
40	8.58	1.14	**23.5**	10.0	1.55	**34.9**	12.14	2.29	**57.3**
50	10.7	1.79	**36.2**	12.5	2.43	**53.7**	15.18	3.58	**88.3**
60	12.9	2.57	**51.5**	15.0	3.50	**76.5**	18.22	5.15	**126**
70	15.0	3.50	**69.5**	17.5	4.76	**103**	21.25	7.01	**170**
80	17.2	4.53	**90.2**	20.0	6.21	**134**	24.29	9.16	**221**
90	19.3	5.79	**114**	22.5	7.86	**168**	27.32	11.59	**279**

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Friction of Water New Steel Pipe *(Continued)*
(Based on Darcy's Formula)
1½ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160—steel		
	1.610" inside dia			1.500" inside dia			1.338" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
4	.63	.006	**.166**	.73	.01	**.233**	.913	.013	**.404**
5	.79	.010	**.246**	.91	.01	**.346**	1.14	.020	**.601**
6	.95	.014	**.340**	1.09	.02	**.478**	1.37	.029	**.832**
7	1.10	.019	**.447**	1.27	.03	**.630**	1.60	.040	**1.10**
8	1.26	.025	**.567**	1.45	.03	**.800**	1.83	.052	**1.35**
9	1.42	.031	**.701**	1.63	.04	**.990**	2.05	.065	**1.67**
10	1.58	.039	**.848**	1.82	.05	**1.20**	2.28	.081	**2.03**
12	1.89	.056	**1.18**	2.18	.07	**1.61**	2.74	.116	**2.84**
14	2.21	.076	**1.51**	2.54	.10	**2.14**	3.20	.158	**3.78**
16	2.52	.099	**1.93**	2.90	.13	**2.74**	3.65	.207	**4.85**
18	2.84	.125	**2.40**	3.27	.17	**3.41**	4.11	.262	**6.04**
20	3.15	.154	**2.92**	3.63	.20	**4.15**	4.56	.323	**7.36**
22	3.47	.187	**3.48**	3.99	.25	**4.96**	5.02	.391	**8.81**
24	3.78	.222	**4.10**	4.36	.30	**5.84**	5.48	.465	**10.4**
26	4.10	.261	**4.76**	4.72	.35	**6.80**	5.93	.546	**12.1**
28	4.41	.303	**5.47**	5.08	.40	**7.82**	6.39	.634	**13.9**
30	4.73	.347	**6.23**	5.45	.46	**8.91**	6.85	.727	**15.9**
32	5.04	.395	**7.04**	5.81	.52	**10.1**	7.30	.828	**18.0**
34	5.36	.446	**7.90**	6.17	.59	**11.3**	7.76	.934	**20.2**
36	5.67	.500	**8.80**	6.54	.66	**12.6**	8.22	1.05	**22.5**
38	5.99	.577	**9.76**	6.90	.74	**14.0**	8.67	1.17	**25.0**
40	6.30	.618	**10.8**	7.26	.82	**15.4**	9.13	1.29	**27.6**
42	6.62	.681	**11.8**	7.63	.90	**16.9**	9.58	1.43	**30.3**
44	6.93	.747	**12.9**	7.99	.99	**18.5**	10.04	1.57	**33.1**
46	7.25	.817	**14.0**	8.35	1.08	**20.1**	10.50	1.71	**36.1**
48	7.56	.889	**15.2**	8.72	1.18	**21.8**	10.95	1.86	**39.2**
50	7.88	.965	**16.5**	9.08	1.28	**23.6**	11.41	2.02	**42.4**
55	8.67	1.17	**19.8**	9.99	1.55	**28.4**	12.55	2.45	**51.0**
60	9.46	1.39	**23.4**	10.9	1.8	**33.6**	13.69	2.91	**60.4**
65	10.24	1.63	**27.3**	11.8	2.2	**39.2**	14.83	3.41	**70.6**
70	11.03	1.89	**31.5**	12.7	2.5	**45.3**	15.97	3.96	**81.5**
75	11.8	2.17	**36.0**	13.6	2.9	**51.8**	17.11	4.55	**93.2**
80	12.6	2.47	**40.8**	14.5	3.3	**58.7**	18.25	5.17	**106**
85	13.4	2.79	**45.9**	15.4	3.7	**66.0**	19.40	5.84	**119**
90	14.2	3.13	**51.3**	16.3	4.1	**73.8**	20.54	6.55	**133**
95	15.0	3.48	**57.0**	17.2	4.6	**82.0**	21.68	7.29	**148**
100	15.8	3.86	**63.0**	18.2	5.1	**90.7**	22.82	8.08	**164**
110	17.3	4.67	**75.8**	20.0	6.2	**109.3**	25.10	9.78	**197**
120	18.9	5.56	**89.9**	21.8	7.4	**129.6**	27.38	11.6	**234**
130	20.5	6.52	**105**	23.6	8.7	**151.6**	29.66	13.7	**274**
140	22.1	7.56	**122**	25.4	10.0	**175**			
150	23.6	8.68	**139**	27.2	11.5	**201**			
160	25.2	9.88	**158**	29.0	13.1	**228**			
170	26.8	11.15	**178**	30.9	14.8	**257**			
180	28.4	12.50	**199**	32.7	16.6	**288**			

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Figura 103. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.)

Friction of Water New Steel Pipe *(Continued)*

(Based on Darcy's Formula)

2 Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160—steel		
	2.067" inside dia			1.939" inside dia			1.687" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft
5	.478	.004	**.074**	.54	.00	.101	.718	.008	**.197**
6	.574	.005	**.102**	.65	.01	**.139**	.861	.012	**.271**
7	.669	.007	**.134**	.76	.01	**.182**	1.01	.018	**.357**
8	.765	.009	**.170**	.87	.01	**.231**	1.15	.020	**.452**
9	.860	.012	**.209**	.98	.01	**.285**	1.29	.026	**.559**
10	.956	.014	**.252**	1.09	.02	**.343**	1.44	.032	**.675**
12	1.15	.021	**.349**	1.30	.03	**.476**	1.72	.046	**.938**
14	1.34	.028	**.461**	1.52	.04	**.629**	2.01	.063	**1.20**
16	1.53	.036	**.586**	1.74	.05	**.800**	2.30	.082	**1.53**
18	1.72	.046	**.725**	1.96	.06	**.991**	2.58	.104	**1.90**
20	1.91	.057	**.878**	2.17	.07	**1.18**	2.87	.128	**2.31**
22	2.10	.069	**1.05**	2.39	.09	**1.38**	3.16	.155	**2.76**
24	2.29	.082	**1.18**	2.61	.11	**1.62**	3.45	.184	**3.25**
26	2.49	.096	**1.37**	2.83	.12	**1.88**	3.73	.216	**3.77**
28	2.68	.111	**1.57**	3.04	.14	**2.16**	4.02	.251	**4.33**
30	2.87	.128	**1.82**	3.26	.17	**2.46**	4.31	.288	**4.93**
35	3.35	.174	**2.38**	3.80	.22	**3.28**	5.02	.392	**6.59**
40	3.82	.227	**3.06**	4.35	.29	**4.21**	5.74	.512	**8.49**
45	4.30	.288	**3.82**	4.89	.37	**5.26**	6.46	.648	**10.6**
50	4.78	.355	**4.66**	5.43	.46	**6.42**	7.18	.799	**13.0**
55	5.26	.430	**5.58**	5.98	.56	**7.70**	7.89	.967	**15.6**
60	5.74	.511	**6.58**	6.52	.66	**9.09**	8.61	1.15	**18.4**
65	6.21	.600	**7.66**	7.06	.77	**10.59**	9.33	1.35	**21.5**
70	6.69	.696	**8.82**	7.61	.90	**12.2**	10.05	1.57	**24.8**
75	7.17	.799	**10.1**	8.15	1.03	**13.9**	10.77	1.80	**28.3**
80	7.65	.909	**11.4**	8.69	1.17	**15.8**	11.48	2.05	**32.1**
85	8.13	1.03	**12.8**	9.03	1.27	**17.7**	12.20	2.31	**36.1**
90	8.60	1.15	**14.3**	9.78	1.49	**19.8**	12.92	2.59	**40.3**
95	9.08	1.28	**15.9**	10.3	1.6	**22.0**	13.64	2.89	**44.8**
100	9.56	1.42	**17.5**	10.9	1.8	**24.3**	14.35	3.20	**49.5**
110	10.52	1.72	**21.0**	12.0	2.2	**29.2**	15.79	3.87	**59.6**
120	11.5	2.05	**24.9**	13.0	2.6	**34.5**	17.22	4.61	**70.6**
130	12.4	2.40	**29.1**	14.1	3.1	**40.3**	18.66	5.40	**82.6**
140	13.4	2.78	**33.6**	15.2	3.6	**46.6**	20.10	6.27	**95.5**
150	14.3	3.20	**38.4**	16.3	4.1	**53.3**	21.53	7.20	**109**
160	15.3	3.64	**43.5**	17.4	4.7	**60.5**	22.97	8.19	**124**
170	16.3	4.11	**49.0**	18.5	5.3	**68.1**	24.40	9.24	**140**
180	17.2	4.60	**54.8**	19.6	6.0	**76.1**	25.84	10.36	**156**
190	18.2	5.13	**60.9**	20.6	6.6	**84.6**	27.27	11.54	**174**
200	19.1	5.68	**67.3**	21.7	7.3	**93.6**	28.71	12.79	**192**
220	21.0	6.88	**81.1**	23.9	8.9	**113**			
240	22.9	8.18	**96.2**	26.9	10.6	**134**			
260	24.9	9.60	**113**	28.3	12.4	**157**			
280	26.8	11.14	**130**	30.4	14.4	**181**			
300	28.7	12.8	**149**	32.6	16.5	**208**			

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Friction of Water New Steel Pipe *(Continued)*

(Based on Darcy's Formula)

2½ Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40			Extra strong steel—sch 80			Schedule 160—steel		
	2.469" inside dia			2.323" inside dia			2.125" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft	Velocity ft per sec	Velocity head ft	Head loss ft per 100 ft
8	.536	.005	**.072**	.61	.01	**.097**	.724	.008	**.149**
10	.670	.007	**.107**	.76	.01	**.144**	.905	.013	**.221**
12	.804	.010	**.148**	.91	.01	**.199**	1.09	.018	**.305**
14	.938	.014	**.195**	1.06	.02	**.261**	1.27	.025	**.403**
16	1.07	.018	**.247**	1.21	.02	**.332**	1.45	.033	**.512**
18	1.21	.023	**.305**	1.36	.03	**.411**	1.63	.041	**.634**
20	1.34	.028	**.369**	1.51	.04	**.497**	1.81	.051	**.767**
22	1.47	.034	**.438**	1.67	.04	**.590**	1.99	.061	**.912**
24	1.61	.040	**.513**	1.82	.05	**.691**	2.17	.073	**1.03**
26	1.74	.047	**.593**	1.97	.06	**.800**	2.35	.086	**1.20**
28	1.88	.055	**.679**	2.12	.07	**.915**	2.53	.100	**1.37**
30	2.01	.063	**.770**	2.27	.08	**1.00**	2.71	.114	**1.56**
35	2.35	.086	**0.99**	2.65	.11	**1.33**	3.17	.156	**2.08**
40	2.68	.112	**1.26**	3.03	.14	**1.71**	3.62	.203	**2.66**
45	3.02	.141	**1.57**	3.41	.18	**2.13**	4.07	.257	**3.32**
50	3.35	.174	**1.91**	3.79	.22	**2.59**	4.52	.318	**4.05**
55	3.69	.211	**2.28**	4.16	.27	**3.10**	4.98	.384	**4.85**
60	4.02	.251	**2.69**	4.54	.32	**3.65**	5.43	.457	**5.72**
65	4.36	.295	**3.13**	4.92	.38	**4.25**	5.88	.537	**6.66**
70	4.69	.342	**3.60**	5.30	.44	**4.89**	6.33	.622	**7.67**
75	5.03	.393	**4.10**	5.68	.50	**5.58**	6.79	.714	**8.75**
80	5.36	.447	**4.64**	6.05	.57	**8.31**	7.24	.813	**9.90**
85	5.70	.504	**5.20**	6.43	.64	**7.08**	7.69	.918	**11.1**
90	6.03	.565	**5.80**	6.81	.72	**7.89**	8.14	1.03	**12.4**
95	6.37	.630	**6.43**	7.19	.80	**8.76**	8.59	1.15	**13.8**
100	6.70	.698	**7.09**	7.57	.89	**9.66**	9.05	1.27	**15.2**
110	7.37	.844	**8.51**	8.33	1.08	**11.6**	9.95	1.54	**18.3**
120	8.04	1.00	**10.1**	9.08	1.28	**13.7**	10.86	1.83	**21.5**
130	8.71	1.18	**11.7**	9.84	1.50	**16.0**	11.76	2.15	**25.2**
140	9.38	1.37	**13.5**	10.6	1.7	**18.5**	12.67	2.49	**29.1**
150	10.05	1.57	**15.5**	11.3	2.0	**21.1**	13.57	2.86	**33.3**
160	10.7	1.79	**17.5**	12.1	2.3	**23.9**	14.47	3.25	**37.8**
170	11.4	2.02	**19.7**	12.9	2.6	**26.9**	15.38	3.67	**42.5**
180	12.1	2.26	**22.0**	13.6	2.9	**30.1**	16.28	4.12	**47.5**
190	12.7	2.52	**24.4**	14.4	3.2	**33.4**	17.19	4.59	**52.8**
200	13.4	2.79	**27.0**	15.1	3.5	**36.9**	18.09	5.08	**58.4**
220	14.7	3.38	**32.5**	16.7	4.3	**44.4**	19.90	6.15	**70.3**
240	16.1	4.02	**38.5**	18.2	5.1	**52.7**	21.71	7.32	**83.4**
260	17.4	4.72	**45.0**	19.7	6.0	**61.6**	23.52	8.59	**97.6**
280	18.8	5.47	**52.3**	21.2	7.0	**71.2**	25.33	9.96	**113**
300	20.1	6.28	**59.6**	22.7	8.0	**81.6**	27.14	11.43	**129**
350	23.5	8.55	**80.6**	26.5	10.9	**110**	31.66	15.56	**175**
400	26.8	11.2	**105**	30.3	14.3	**144**	36.19	20.32	**226.**
450	30.2	14.1	**132**	34.1	18.1	**181**	40.71	25.72	**288**
500	33.5	17.4	**163**	37.9	22.3	**223**	45.23	31.75	**354**

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Figura 104. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.)

Friction of Water — Asphalt-dipped Cast Iron and New Steel Pipe (Based on Darcy's Formula) *(Continued)*

3 Inch

Flow U S gal per min	Asphalt-dipped cast iron 3.0" inside dia			Std wt steel sch 40 3.068" inside dia			Extra strong steel sch 80 2.900" inside dia			Schedule 160—steel 2.624" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
10	.454	.00	**.042**	.434	.003	**.038**	.49	.00	**.050**	.593	.005	**.080**
15	.681	.01	**.088**	.651	.007	**.077**	.73	.01	**.101**	.890	.012	**.164**
20	.908	.01	**.149**	.868	.012	**.129**	.97	.02	**.169**	1.19	.022	**.275**
25	1.13	.02	**.225**	1.09	.018	**.192**	1.21	.02	**.253**	1.48	.034	**.411**
30	1.36	.03	**.316**	1.30	.026	**.267**	1.45	.03	**.351**	1.78	.049	**.572**
35	1.59	.04	**.421**	1.52	.036	**.353**	1.70	.04	**.464**	2.08	.067	**.757**
40	1.82	.05	**.541**	1.74	.047	**.449**	1.94	.06	**.592**	2.37	.087	**.933**
45	2.04	.06	**.676**	1.95	.059	**.557**	2.18	.07	**.734**	2.67	.111	**1.16**
50	2.27	.08	**.825**	2.17	.073	**.676**	2.43	.09	**.860**	2.97	.137	**1.41**
55	2.50	.10	**.990**	2.39	.089	**.776**	2.67	.11	**1.03**	3.26	.165	**1.69**
60	2.72	.12	**1.17**	2.60	.105	**.912**	2.91	.13	**1.21**	3.56	.197	**1.99**
65	2.95	.14	**1.36**	2.82	.124	**1.06**	3.16	.15	**1.40**	3.86	.231	**2.31**
70	3.18	.16	**1.57**	3.04	.143	**1.22**	3.40	.18	**1.61**	4.15	.268	**2.65**
75	3.40	.18	**1.79**	3.25	.165	**1.38**	3.64	.21	**1.83**	4.45	.307	**3.02**
80	3.63	.21	**2.03**	3.47	.187	**1.56**	3.88	.23	**2.07**	4.75	.350	**3.41**
85	3.86	.23	**2.28**	3.69	.211	**1.75**	4.12	.26	**2.31**	5.04	.395	**3.83**
90	4.08	.26	**2.55**	3.91	.237	**1.95**	4.37	.29	**2.58**	5.34	.443	**4.27**
95	4.31	.29	**2.83**	4.12	.264	**2.16**	4.61	.33	**2.86**	5.63	.493	**4.73**
100	4.54	.32	**3.12**	4.34	.293	**2.37**	4.85	.36	**3.15**	5.93	.546	**5.21**
110	4.99	.39	**3.75**	4.77	.354	**2.84**	5.33	.44	**3.77**	6.53	.661	**6.25**
120	5.45	.46	**4.45**	5.21	.421	**3.35**	5.81	.52	**4.45**	7.12	.787	**7.38**
130	5.90	.54	**5.19**	5.64	.495	**3.90**	6.30	.62	**5.19**	7.71	.923	**8.61**
140	6.35	.63	**6.00**	6.08	.574	**4.50**	6.79	.71	**5.98**	8.31	1.07	**9.92**
150	6.81	.72	**6.87**	6.51	.659	**5.13**	7.28	.82	**6.82**	8.90	1.23	**11.3**
160	7.26	.82	**7.79**	6.94	.749	**5.80**	7.76	.93	**7.72**	9.49	1.40	**12.8**
180	8.17	1.04	**9.81**	7.81	.948	**7.27**	8.72	1.01	**9.68**	10.68	1.77	**16.1**
200	9.08	1.28	**12.1**	8.68	1.17	**8.90**	9.70	1.46	**11.86**	11.87	2.19	**19.8**
220	9.98	1.55	**14.5**	9.55	1.42	**10.7**	10.7	1.78	**14.26**	13.05	2.64	**23.8**
240	10.9	1.84	**17.3**	10.4	1.69	**12.7**	11.6	2.07	**16.88**	14.24	3.15	**28.2**
260	11.8	2.16	**20.2**	11.3	1.98	**14.8**	12.6	2.46	**19.71**	15.43	3.69	**32.9**
280	12.7	2.51	**23.4**	12.2	2.29	**17.1**	13.6	2.88	**22.77**	16.61	4.28	**38.0**
300	13.6	2.88	**26.8**	13.0	2.63	**19.5**	14.5	3.26	**26.04**	17.80	4.92	**43.5**
320	14.5	3.28	**30.4**	13.9	3.00	**22.1**	15.5	3.77	**29.53**	18.99	5.59	**49.4**
340	15.4	3.70	**34.3**	14.8	3.38	**24.9**	16.5	4.22	**33.24**	20.17	6.32	**55.6**
360	16.3	4.15	**38.4**	15.6	3.79	**27.8**	17.5	4.73	**37.16**	21.36	7.08	**62.2**
380	17.2	4.62	**42.7**	16.5	4.23	**30.9**	18.4	5.27	**41.31**	22.55	7.89	**69.2**
400	18.2	5.12	**47.3**	17.4	4.68	**34.2**	19.4	5.81	**45.67**	23.73	8.74	**76.5**
420	19.1	5.65	**52.1**	18.2	5.16	**37.6**	20.4	6.43	**50.25**	24.92	9.64	**84.2**
440	20.0	6.20	**57.1**	19.1	5.67	**41.2**	21.4	7.13	**55.05**	26.11	10.56	**92.2**
460	20.9	6.77	**62.4**	20.0	6.19	**44.9**	22.3	7.75	**60.06**	27.29	11.56	**101**
480	21.8	7.38	**67.9**	20.8	6.74	**48.8**	23.3	8.37	**65.30**	28.48	12.59	**109**
500	22.7	8.00	**73.6**	21.7	7.32	**52.9**	24.2	9.15	**70.75**	29.66	13.66	**118**
550	25.0	9.68	**88.9**	23.9	8.85	**63.8**	26.7	11.1	**85.33**	32.63	16.53	**143**
600	27.2	11.5	**106**	26.0	10.5	**75.7**	29.1	13.1	**101**	35.60	19.67	**170**
650	29.5	13.5	**124**	28.2	12.4	**88.6**	31.6	15.5	**119**	38.56	23.08	**199**

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Friction of Water — Asphalt-dipped Cast Iron and New Steel Pipe (Based on Darcy's Formula) *(Continued)*

3½ Inch

Flow U S gal per min	Asphalt-dipped cast iron 3.5" inside dia			Std wt steel sch 40 3.548" inside dia			Extra strong steel sch 80 3.364" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
15	.500	.004	**.043**	.487	.004	**.038**	.54	.00	**.050**
20	.667	.007	**.070**	.649	.007	**.064**	.72	.01	**.083**
25	.834	.011	**.105**	.811	.010	**.095**	.90	.01	**.123**
30	1.000	.016	**.146**	.974	.015	**.132**	1.08	.02	**.171**
35	1.167	.021	**.195**	1.14	.020	**.174**	1.26	.02	**.225**
40	1.334	.028	**.250**	1.30	.026	**.221**	1.44	.03	**.287**
45	1.501	.035	**.311**	1.46	.033	**.274**	1.63	.04	**.355**
50	1.667	.043	**.379**	1.62	.041	**.332**	1.80	.05	**.430**
60	2.001	.062	**.535**	1.95	.059	**.463**	2.17	.07	**.601**
70	2.334	.085	**.717**	2.27	.080	**.614**	2.53	.10	**.769**
80	2.67	.110	**.924**	2.60	.105	**.757**	2.89	.13	**.986**
90	3.00	.140	**.160**	2.92	.133	**.943**	3.25	.16	**1.23**
100	3.34	.173	**1.42**	3.25	.164	**1.15**	3.61	.20	**1.50**
110	3.67	.209	**1.70**	3.57	.198	**1.37**	3.97	.24	**1.79**
120	4.00	.249	**2.01**	3.89	.236	**1.62**	4.33	.29	**2.11**
130	4.34	.292	**2.35**	4.22	.277	**1.88**	4.69	.34	**2.46**
140	4.67	.338	**2.71**	4.54	.321	**2.16**	5.05	.40	**2.83**
150	5.00	.388	**3.10**	4.87	.368	**2.47**	5.41	.45	**3.22**
160	5.34	.442	**3.52**	5.19	.419	**2.79**	5.78	.52	**3.64**
170	5.67	.499	**3.96**	5.52	.473	**3.13**	6.14	.59	**4.09**
180	6.00	.56	**4.42**	5.84	.530	**3.49**	6.50	.66	**4.56**
190	6.34	.62	**4.92**	6.17	.591	**3.86**	6.85	.73	**5.06**
200	6.67	.69	**5.43**	6.49	.655	**4.26**	7.22	.81	**5.58**
220	7.34	.84	**6.55**	7.14	.792	**5.12**	7.94	.98	**6.70**
240	8.00	.99	**7.76**	7.79	.943	**6.04**	8.66	1.17	**7.92**
260	8.67	1.17	**9.08**	8.44	1.11	**7.05**	9.38	1.37	**9.24**
280	9.34	1.35	**10.5**	9.09	1.28	**8.13**	10.1	1.6	**10.66**
300	10.0	1.55	**12.0**	9.74	1.47	**9.29**	10.8	1.8	**12.2**
320	10.7	1.77	**13.7**	10.4	1.68	**10.5**	11.5	2.1	**13.8**
340	11.3	2.00	**15.4**	11.0	1.89	**11.8**	12.3	2.4	**15.5**
360	12.0	2.24	**17.2**	11.7	2.12	**13.2**	13.0	2.6	**17.4**
380	12.7	2.49	**19.2**	12.3	2.36	**14.7**	13.7	2.9	**19.3**
400	13.3	2.75	**21.2**	13.0	2.62	**16.2**	14.4	3.2	**21.3**
420	14.0	3.05	**23.3**	13.6	2.89	**17.8**	15.2	3.6	**23.4**
440	14.7	3.34	**25.6**	14.3	3.17	**19.5**	15.9	3.9	**25.7**
460	15.3	3.65	**27.9**	14.9	3.46	**21.3**	16.6	4.3	**28.0**
480	16.0	3.98	**30.4**	15.6	3.77	**23.1**	17.3	4.7	**30.4**
500	16.7	4.32	**32.9**	16.2	4.09	**25.1**	18.1	5.1	**32.9**
550	18.3	5.22	**39.8**	17.8	4.95	**30.2**	19.9	6.2	**39.7**
600	20.0	6.21	**47.2**	19.5	5.89	**35.8**	21.7	7.3	**47.1**
650	21.7	7.29	**55.4**	21.1	6.91	**41.9**	23.5	8.6	**55.1**
700	23.3	8.46	**64.1**	22.7	8.02	**48.4**	25.3	9.4	**63.7**
750	25.0	9.71	**73.5**	24.3	9.20	**55.4**	27.1	11.4	**73.0**
800	26.7	11.0	**83.8**	26.0	10.5	**62.9**	28.9	13.0	**82.9**
850	28.3	12.5	**94.2**	27.6	11.8	**70.9**	30.7	14.6	**93.4**

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Figura 105. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.)

Friction of Water — Asphalt-dipped Cast Iron and New Steel Pipe (Based on Darcy's Formula) 4 Inch *(Continued)*

Flow U S gal per min	Asphalt-dipped cast iron 4.0" inside dia			Std wt steel sch 40 4.026" inside dia			Extra strong steel sch 80 3.826" inside dia			Schedule 160—steel 3.438" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
20	.511	.004	**.038**	.504	.004	**.035**	.56	.00	**.045**	.691	.007	**.074**
30	.766	.009	**.076**	.756	.009	**.072**	.84	.01	**.092**	1.04	.017	**.154**
40	1.02	.016	**.128**	1.01	.016	**.120**	1.12	.02	**.153**	1.38	.030	**.258**
50	1.28	.025	**.194**	1.26	.025	**.179**	1.40	.03	**.230**	1.73	.046	**.387**
60	1.53	.037	**.273**	1.51	.036	**.250**	1.67	.04	**.320**	2.07	.067	**.540**
70	1.79	.050	**.365**	1.76	.048	**.330**	1.95	.06	**.424**	2.42	.091	**.691**
80	2.04	.065	**.470**	2.02	.063	**.422**	2.23	.08	**.541**	2.77	.119	**.885**
90	2.30	.082	**.586**	2.27	.080	**.523**	2.51	.10	**.649**	3.11	.150	**1.10**
100	2.55	.101	**.719**	2.52	.099	**.613**	2.79	.12	**.789**	3.46	.185	**1.34**
110	2.81	.123	**.862**	2.77	.119	**.732**	3.07	.15	**.943**	3.80	.224	**1.61**
120	3.06	.146	**1.02**	3.02	.142	**.861**	3.35	.17	**1.11**	4.15	.267	**1.89**
130	3.32	.171	**1.19**	3.28	.167	**1.00**	3.63	.20	**1.29**	4.49	.313	**2.20**
140	3.57	.199	**1.37**	3.53	.193	**1.15**	3.91	.24	**1.48**	4.84	.363	**2.53**
150	3.83	.228	**1.57**	3.78	.222	**1.31**	4.19	.27	**1.69**	5.18	.417	**2.89**
160	4.08	.259	**1.77**	4.03	.253	**1.48**	4.47	.31	**1.91**	5.53	.475	**3.26**
170	4.34	.293	**1.99**	4.28	.285	**1.66**	4.75	.35	**2.14**	5.88	.536	**3.66**
180	4.60	.328	**2.23**	4.54	.320	**1.85**	5.02	.39	**2.38**	6.22	.601	**4.09**
190	4.85	.368	**2.47**	4.79	.356	**2.05**	5.30	.44	**2.64**	6.57	.669	**4.53**
200	5.11	.406	**2.73**	5.04	.395	**2.25**	5.58	.48	**2.91**	6.91	.742	**5.00**
220	5.62	.490	**3.29**	5.54	.478	**2.70**	6.14	.59	**3.49**	7.60	.897	**6.00**
240	6.13	.583	**3.90**	6.05	.569	**3.19**	6.70	.70	**4.13**	8.30	1.07	**7.09**
260	6.64	.685	**4.55**	6.55	.667	**3.72**	7.26	.82	**4.81**	8.99	1.25	**8.27**
280	7.15	.794	**5.26**	7.06	.774	**4.28**	7.82	.95	**5.54**	9.68	1.45	**9.55**
300	7.66	.912	**6.02**	7.56	.888	**4.89**	8.38	1.09	**6.33**	10.37	1.67	**10.9**
320	8.17	1.04	**6.84**	8.06	1.01	**5.53**	8.94	1.24	**7.17**	11.06	1.90	**12.4**
340	8.68	1.17	**7.70**	8.57	1.14	**6.22**	9.50	1.40	**8.06**	11.75	2.14	**13.9**
360	9.19	1.31	**8.61**	9.07	1.28	**6.94**	10.0	1.6	**9.00**	12.44	2.40	**15.5**
380	9.70	1.46	**9.58**	9.58	1.43	**7.71**	10.6	1.7	**9.99**	13.13	2.68	**17.3**
400	10.2	1.62	**10.6**	10.1	1.58	**8.51**	11.2	1.9	**11.0**	13.82	2.97	**19.1**
420	10.7	1.79	**11.6**	10.6	1.74	**9.35**	11.7	2.1	**12.1**	14.52	3.27	**21.0**
440	11.2	1.96	**12.8**	11.1	1.91	**10.2**	12.3	2.3	**13.3**	15.21	3.59	**22.9**
460	11.7	2.14	**13.9**	11.6	2.09	**11.2**	12.8	2.5	**14.5**	15.90	3.92	**25.0**
480	12.3	2.33	**15.2**	12.1	2.27	**12.1**	13.4	2.8	**15.7**	16.59	4.27	**27.2**
500	12.8	2.53	**16.4**	12.6	2.47	**13.1**	14.0	3.0	**17.0**	17.28	4.64	**29.5**
550	14.0	3.06	**19.8**	13.9	2.99	**15.8**	15.3	3.6	**20.5**	19.00	5.61	**35.5**
600	15.3	3.65	**23.6**	15.1	3.55	**18.7**	16.7	4.3	**24.3**	20.74	6.67	**42.1**
650	16.6	4.28	**27.6**	16.4	4.17	**21.7**	18.1	5.1	**28.4**	22.46	7.83	**49.2**
700	17.9	4.96	**32.0**	17.6	4.84	**25.3**	19.5	5.9	**32.8**	24.19	9.08	**57.0**
750	19.1	5.70	**36.6**	18.9	5.55	**28.9**	20.9	6.8	**37.6**	25.92	10.4	**65.2**
800	20.4	6.48	**41.6**	20.2	6.32	**32.8**	22.3	7.7	**42.7**	27.65	11.7	**74.1**
850	21.7	7.32	**46.9**	21.4	7.13	**37.0**	23.7	8.7	**48.1**	29.38	13.4	**83.4**
900	23.0	8.20	**52.6**	22.7	8.00	**41.4**	25.1	9.8	**53.8**	31.10	15.0	**93.4**
950	24.3	9.14	**58.5**	23.9	8.91	**46.0**	26.5	10.9	**59.8**	32.83	16.7	**104**
1000	25.5	10.1	**64.8**	25.2	9.87	**50.9**	27.9	12.1	**66.2**	34.56	18.5	**115**
1100	28.1	12.3	**78.3**	27.7	11.9	**61.4**	30.7	14.6	**79.8**	38.02	22.4	**139**

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Friction of Water *New Steel Pipe *(Continued)* (Based on Darcy's Formula) 5 Inch

Flow U S gal per min	Standard wt steel—sch 40 5.047" inside dia			Extra strong steel—sch 80 4.813" inside dia			Schedule 160—steel 4.313" inside dia		
	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**	Velocity ft per sec	Velocity head ft	**Head loss ft per 100 ft**
30	.481	.004	**.024**	.53	.00	**.030**	.659	.007	**.051**
40	.641	.006	**.040**	.71	.01	**.051**	.878	.012	**.086**
50	.802	.010	**.060**	.88	.01	**.075**	1.10	.019	**.128**
60	.962	.014	**.083**	1.06	.02	**.105**	1.32	.027	**.178**
70	1.12	.020	**.110**	1.23	.02	**.138**	1.54	.037	**.236**
80	1.28	.026	**.140**	1.41	.03	**.176**	1.76	.048	**.301**
90	1.44	.032	**.173**	1.59	.04	**.218**	1.98	.061	**.373**
100	1.60	.040	**.210**	1.76	.05	**.265**	2.20	.075	**.453**
120	1.92	.058	**.293**	2.11	.07	**.370**	2.64	.108	**.612**
140	2.25	.078	**.389**	2.47	.09	**.491**	3.07	.147	**.816**
160	2.57	.102	**.480**	2.82	.12	**.607**	3.51	.192	**1.05**
180	2.89	.129	**.598**	3.17	.16	**.757**	3.95	.243	**1.31**
200	3.21	.160	**.729**	3.52	.19	**.922**	4.39	.299	**1.60**
220	3.53	.193	**.870**	3.88	.23	**1.10**	4.83	.362	**1.91**
240	3.85	.230	**1.03**	4.23	.28	**1.30**	5.27	.431	**2.25**
260	4.17	.270	**1.19**	4.58	.33	**1.51**	5.71	.506	**2.63**
280	4.49	.313	**1.37**	4.94	.38	**1.74**	6.15	.587	**3.02**
300	4.81	.360	**1.56**	5.29	.43	**1.99**	6.59	.674	**3.45**
320	5.13	.409	**1.77**	5.64	.49	**2.25**	7.03	.766	**3.91**
340	5.45	.462	**1.98**	5.99	.56	**2.52**	7.47	.865	**4.39**
360	5.77	.518	**2.21**	6.35	.63	**2.81**	7.91	.970	**4.90**
380	6.09	.577	**2.45**	6.70	.70	**3.12**	8.35	1.08	**5.43**
400	6.41	.639	**2.71**	7.05	.77	**3.44**	8.78	1.20	**6.00**
420	6.74	.705	**2.97**	7.40	.85	**3.78**	9.22	1.32	**6.59**
440	7.06	.774	**3.25**	7.76	.94	**4.13**	9.66	1.45	**7.21**
460	7.38	.846	**3.54**	8.11	1.02	**4.50**	10.10	1.58	**7.85**
480	7.70	.921	**3.84**	8.46	1.11	**4.88**	10.54	1.73	**8.53**
500	8.02	.999	**4.15**	8.82	1.21	**5.28**	10.98	1.87	**9.23**
550	8.82	1.21	**4.99**	9.70	1.46	**6.35**	12.08	2.26	**11.1**
600	9.62	1.44	**5.90**	10.6	1.7	**7.51**	13.18	2.70	**13.1**
650	10.4	1.69	**6.89**	11.5	2.1	**8.77**	14.27	3.16	**15.4**
700	11.2	1.96	**7.95**	12.3	2.4	**10.1**	15.37	3.67	**17.8**
750	12.0	2.25	**9.09**	13.2	2.7	**11.6**	16.47	4.21	**20.3**
800	12.8	2.56	**10.3**	14.1	3.1	**13.1**	17.57	4.79	**23.0**
850	13.6	2.89	**11.6**	15.0	3.5	**14.8**	18.67	5.41	**25.9**
900	14.4	3.24	**13.0**	15.9	3.9	**16.5**	19.76	6.06	**29.0**
950	15.2	3.61	**14.4**	16.7	4.3	**18.4**	20.86	6.76	**32.3**
1000	16.0	4.00	**15.9**	17.6	4.8	**20.3**	21.96	7.49	**36.7**
1100	17.6	4.84	**19.2**	19.4	5.8	**24.5**	24.16	9.06	**43.0**
1200	19.2	5.76	**22.7**	21.1	6.9	**29.0**	26.35	10.78	**51.0**
1300	20.8	6.75	**26.6**	22.9	8.2	**34.0**	28.55	12.65	**59.8**
1400	22.5	7.83	**30.7**	24.7	9.5	**39.3**	30.74	14.67	**69.2**
1500	24.1	8.99	**35.2**	26.4	10.8	**45.0**	32.94	16.84	**79.2**
1600	25.7	10.2	**40.0**	28.2	12.4	**51.1**	35.14	19.16	**90.0**
1700	27.3	11.6	**45.1**	30.0	14.0	**57.6**	37.33	21.63	**101**

* Cast iron not commercially available in this size.

Note: No allowance has been made for age, difference in diameter, or any abnormal condition of interior surface. Any factor of safety must be estimated from the local conditions and the requirements of each particular installation. It is recommended that for most commercial design purposes a safety factor of 15 to 20% be added to the values in the tables—see page 3-5.

Figura 106. Pérdidas por fricción para tuberías de acero Cameron Hydraulic Data (cont.)

Figura 107. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data

Friction of Water

Head Losses Through Valves and Fittings

Head losses (h_f) through valves, fittings, sudden contractions and enlargements, entrance and exit losses can be expressed in terms of the velocity head ($V^2/2g$) by using the applicable resistance coefficient (K) in the equations:

$$h_f = K\frac{V^2}{2g} = K(0.0155)V^2 = K\frac{(0.00259)gpm^2}{d^4}$$

Select applicable (K) from tables on pages 3-111 to 3-117; select (V) for average velocity in pipe of diameter required to accommodate fitting; see examples on page 3-119.

A second method of expressing head losses (h_f) through valves and fittings etc. is in terms of the equivalent length of straight pipe that will produce the same loss as calculated by the Darcy-Weisbach equation for straight pipe. (See table on page 3-120).

The applicable equations are:

$$h_f = \left(f\frac{L}{D}\right)\frac{V^2}{2g}\ ;\quad K = f\frac{L}{D}\ ;\quad L = \frac{KD}{f}$$

where

d = pipe diameter—inches
D = pipe diameter in feet
f = friction factor (from chart, Page 3-11) for zone of complete turbulence.
g = gravitational constant—32.174 ft/sec^2
h_f = head loss in feet of liquid
K = resistance coefficient (from tables on pages 3-111 to 3-120) is based on test data, or extrapolated from test data; and depends on design, size and type of fitting.
L = friction loss in pipe fittings in terms of equivalent length in feet of straight pipe (See table page 3-120).
V = average velocity in pipe of diameter required to accommodate fitting—ft/sec.

From the above one can solve for (L) and L/D ratio using the value of K from the tables and selecting f for the zone of complete turbulence.

A third method of expressing head losses, particularly for control valves, is in terms of a flow coefficient C_v. This is defined as the flow of liquid at 60°F in gallons per minute at a pressure drop of one pound per square inch across the valve. The relationship of C_v and K is shown by the following formulas.

$$C_v = \frac{29.9 \times d^2}{\sqrt{K}} \text{ and } K = \frac{894 \times d^4}{(C_v)^2}$$

The tables on pages 3-111 to 3-119 list K values for schedule 40 pipe in sizes up to and including 24" and are based on flows for complete turbulence.

Since the K values between pipe sizes are close, it is reasonable to interpolate between sizes if they do not correspond to schedule 40 diameters.

For K values for pipes larger than 24" it is suggested that the 24" value be used.

The above text and tables on pages 3-111 to 3-120 are based on material in Crane Co. Technical Paper No. 410*. Reference to this paper is suggested for more complete review of this subject.

* It should be noted that there is considerable variation in published values of resistance coefficient K for different valves and fittings.

Friction of Water (Continued)

Friction Loss in Pipe Fittings

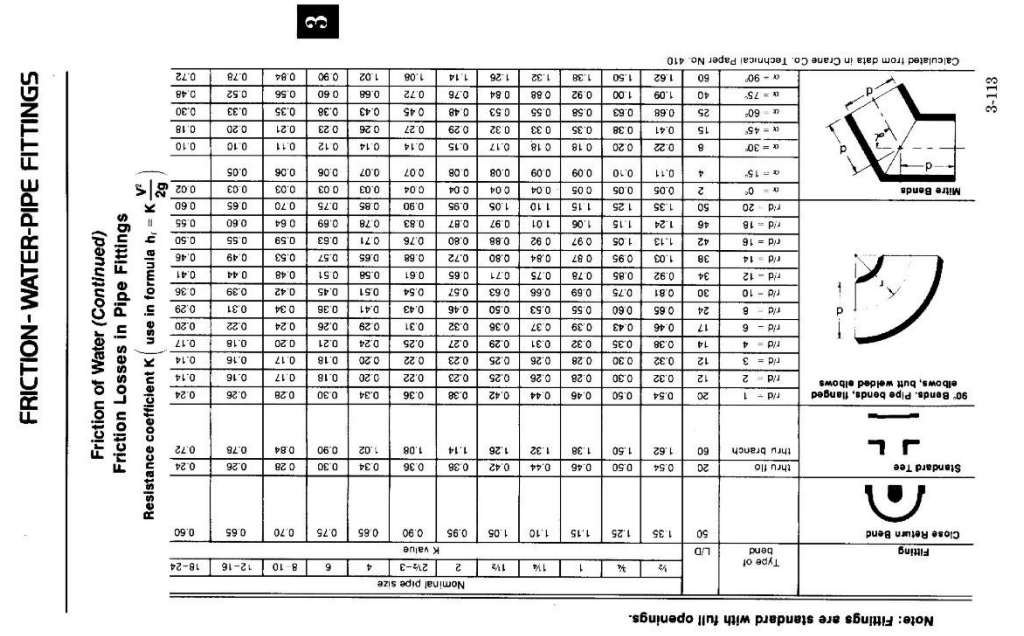
Resistance coefficient K (use in formula $h_f = K\frac{V^2}{2g}$)

Fitting	L/D	Nominal pipe size																
		½	¾	1	1¼	1½	2	2½–3	4	6	8–10	12–16	18–24
		K value											
Gate Valves	8	0.22	0.20	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
Globe Valves	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1
Angle Valves	55	1.48	1.38	1.27	1.21	1.16	1.05	0.99	0.94	0.83	0.77	0.72	0.66
Angle Valves	150	4.05	3.75	3.45	3.30	3.15	2.85	2.70	2.55	2.25	2.10	1.95	1.80
Ball Valves	3	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04

Note: Fittings are standard with full openings.

Calculated from data in Crane Co. Technical Paper No. 410.

Figura 108. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data (cont.)



INGERSOLL-RAND CAMERON HYDRAULIC DATA

Friction of Water (Continued)
Friction Losses in Pipe Fittings
Resistance coefficient K (use in formula $h_f = K \frac{V^2}{2g}$)

Fitting	L/D	Nominal pipe size ½	¾	1	1¼	1½	2	2½–3	4	6	8–10	12–16	18–24
		K value											
Butterfly Valve							0.86	0.81	0.77	0.68	0.63	0.35	0.30
Plug Valve straightway	18	0.49	0.45	0.41	0.40	0.38	0.34	0.32	0.31	0.27	0.25	0.23	0.22
Plug Valve 3-way thru-flo	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
Plug Valve branch-flo	90	2.43	2.25	2.07	1.98	1.89	1.71	1.62	1.53	1.35	1.26	1.17	1.08
Standard elbow	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	long radius 90°	16	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19

Note: Fittings are standard with full openings.

Calculated from data in Crane Co. Technical Paper No. 410.

3-112

FRICTION-WATER-PIPE FITTINGS

Friction of Water (Continued)
Friction Losses in Pipe Fittings
Resistance coefficient K (use in formula $h_f = K \frac{V^2}{2g}$)

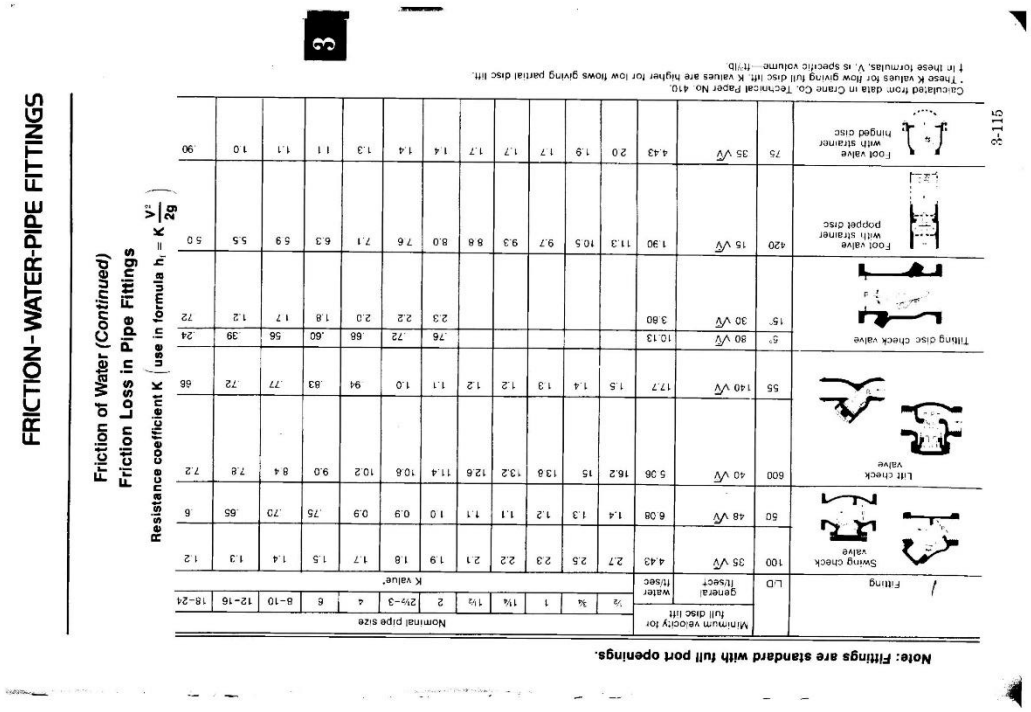
Fitting	Type of bend	L/D	Nominal pipe size ½	¾	1	1¼	1½	2	2½–3	4	6	8–10	12–16	18–24
			K value											
Close Return Bend		50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
Standard Tee	thru flo	20	0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
	thru branch	60	1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72
90° Bends, Pipe bends, flanged elbows, butt welded elbows	r/d = 1	20	0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
	r/d = 2	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	r/d = 3	12	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14
	r/d = 4	14	0.38	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17
	r/d = 6	17	0.46	0.43	0.39	0.37	0.36	0.32	0.31	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
	r/d = 8	24	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50	0.46	0.43	0.41	0.36	0.34	0.31	0.29
	r/d = 10	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	r/d = 12	34	0.92	0.85	0.78	0.75	0.71	0.65	0.61	0.58	0.51	0.48	0.44	0.41
	r/d = 14	38	1.03	0.95	0.87	0.84	0.80	0.72	0.68	0.65	0.57	0.53	0.49	0.46
	r/d = 16	42	1.13	1.05	0.97	0.92	0.88	0.80	0.76	0.71	0.63	0.59	0.55	0.50
	r/d = 18	46	1.24	1.15	1.06	1.01	0.97	0.87	0.83	0.78	0.69	0.64	0.60	0.55
	r/d = 20	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
Miter Bends	α = 0°	2	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
	α = 15°	4	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	
	α = 30°	8	0.22	0.20	0.18	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
	α = 45°	15	0.41	0.38	0.35	0.33	0.32	0.29	0.27	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18
	α = 60°	25	0.68	0.63	0.58	0.55	0.53	0.48	0.45	0.43	0.38	0.35	0.33	0.30
	α = 75°	40	1.09	1.00	0.92	0.88	0.84	0.76	0.72	0.68	0.60	0.56	0.52	0.48
	α = 90°	60	1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72

Note: Fittings are standard with full openings.

Calculated from data in Crane Co. Technical Paper No. 410

3-113

Figura 109. Pérdidas por fricción por accesorios Cameron Hydraulic Data (cont.)



FRICTION-WATER-PIPE FITTINGS

Friction of Water (Continued)
Friction Loss in Pipe Fittings
Resistance coefficient K (use in formula $h_f = K \frac{V^2}{2g}$)

Fitting	L/D	Minimum velocity for full disc lift ft/sec	Minimum velocity for full disc lift general ft/sec	Minimum velocity for full disc lift water ft/sec	Nominal pipe size ½	¾	1	1¼	1½	2	2½–3	4	6	8–10	12–16	18–24
					K value*											
Swing check valve	100	35 √V	4.43	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Lift check valve	600	40 √V	5.06	16.2	15	13.8	13.2	12.6	11.4	10.6	10.2	9.0	8.4	7.8	7.2	
	50	48 √V	6.08	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	.75	.70	.65	.6	
	55	140 √V	17.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	94	.83	.77	.72	.66	
Tilting disc check valve	5°	80 √V	10.13						.76	.72	.66	.60	.56	.39	.24	
	15°	30 √V	3.80						2.3	2.2	2.0	1.8	1.7	1.2	.72	
Foot valve with strainer poppet disc	420	15 √V	1.30	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Foot valve with strainer hinged disc	75	35 √V	4.43	2.0	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	.90	

Note: Fittings are standard with full port openings.

* Calculated from data in Crane Co. Technical Paper No. 410.
† These K values for flow giving full disc lift. K values are higher for low flows giving partial disc lift.
‡ In these formulas, V is specific volume—ft³/lb.

3-115

INGERSOLL-RAND CAMERON HYDRAULIC DATA

Friction of Water (Continued)
Friction Losses in Pipe Fittings
Resistance coefficient K (use in formula $h_f = K \frac{V^2}{2g}$)

Fitting stop-check valves	L/D	Minimum velocity for full disc lift general ft/sec	Minimum velocity for full disc lift water ft/sec	Nominal pipe size ½	¾	1	1¼	1½	2	2½–3	4	6	8–10	12–16	18–24
				K value*											
	400	55 √V	6.96	10.8	10	9.2	8.8	8.4	7.5	7.2	6.8	6.0	5.6	5.2	4.8
	200	75 √V	9.49	5.4	5	4.6	4.4	4.2	3.8	3.6	3.4	3.0	2.8	2.6	2.4
	350	60 √V	7.59	9.5	8.8	8.1	7.7	7.4	6.7	6.3	6.0	5.3	4.9	4.6	4.2
	300	60 √V	7.59	8.1	7.5	6.9	6.6	6.3	5.7	5.4	5.1	4.5	4.2	3.9	3.6
	55	140 √V	17.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	.94	.83	.77	.72	.66

Note: Fittings are standard with full port openings.

* Calculated from data in Crane Co. Technical Paper No. 410.
† These K values for flow giving full disc lift. K values are higher for low flows giving partial disc lift.
‡ In these formulas, V is specific volume—ft³/lb.

3-114

Figura 110. Pérdidas por fricción por contracciones y expansiones Cameron Hydraulic Data

INGERSOLL-RAND CAMERON HYDRAULIC DATA

Friction of Water (Continued)
Friction Loss in Pipe Fittings
Resistance coefficient ($h_f = K \frac{V^2}{2g}$)

Fitting		Description	All pipe sizes K value
Pipe exit		projecting	1.0
		sharp edged	
		rounded	
Pipe entrance		inward projecting	0.78
Pipe entrance flush		sharp edged	0.5
		r/d = 0.02	0.28
		r/d = 0.04	0.24
		r/d = 0.06	0.15
		r/d = 0.10	0.09
		r/d = 0.15 & up	0.04

From Crane Co. Technical Paper 410.

3-116

FRICTION-WATER-PIPE FITTINGS

Friction of Water (Continued)

Friction Loss Due to Change in Pipe Size—Feet of Liquid
Loss of head in ft of liquid — **Based on velocity in smaller pipe**

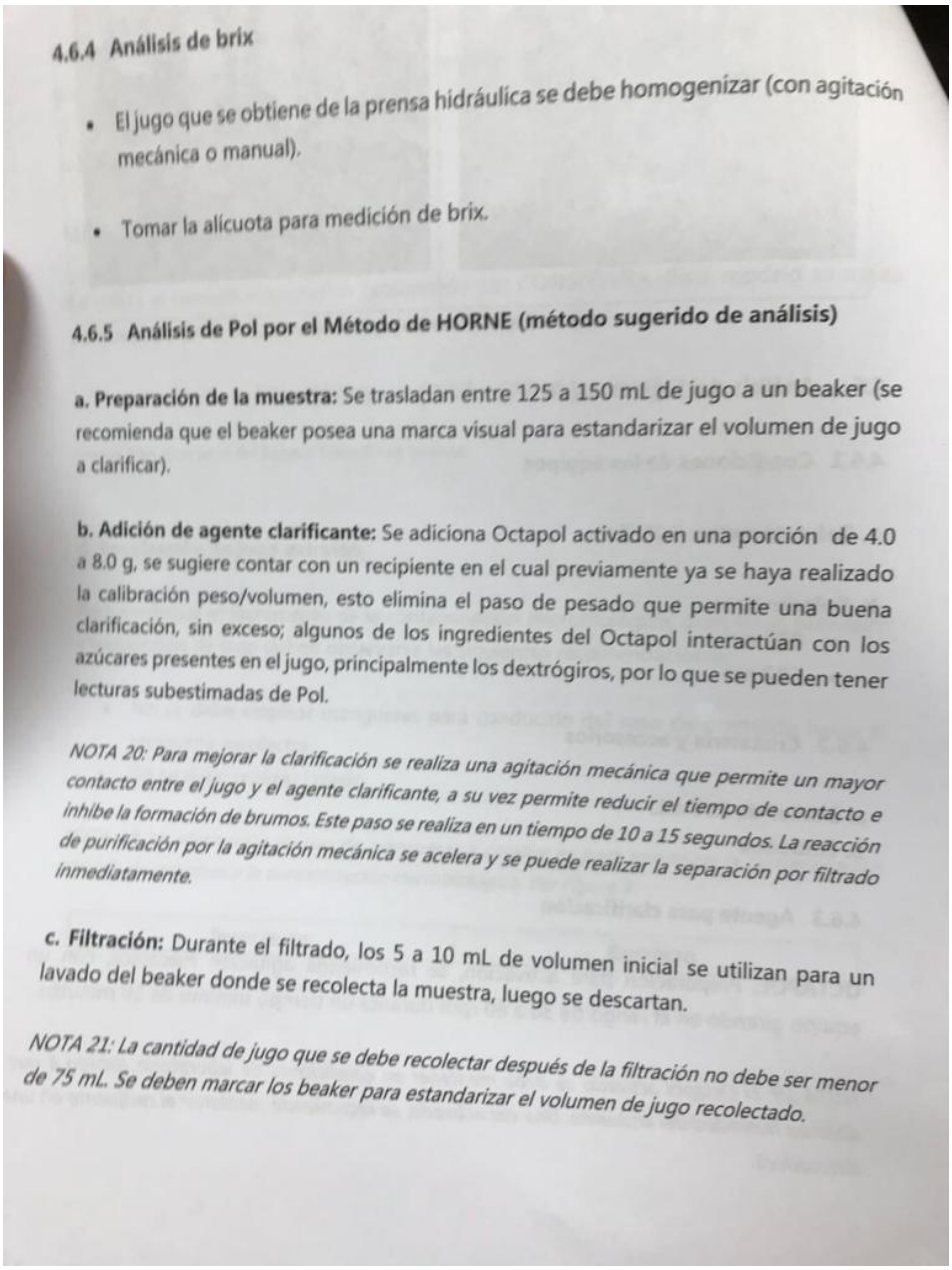
Velocity of d_1, fps	Sudden Enlargements d_1/d_2 0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	Sudden Contractions d_2/d_1 0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	Velocity of d_2, fps
2	.00	.01	.02	.03	.05	.06	.08	.12	.14	.01	.01	.02	.02	.02	.03	.03	.03	.03	2
3	.01	.02	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.14	.01	.01	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.07	3
4	.01	.03	.06	.10	.14	.17	.21	.23	.24	.02	.02	.04	.06	.08	.09	.10	.11	.12	4
5	.01	.05	.10	.16	.22	.27	.32	.36	.36	.04	.04	.07	.10	.12	.15	.16	.18	.19	5
6	.02	.07	.15	.23	.31	.39	.46	.51	.55	.05	.05	.10	.14	.18	.21	.23	.26	.27	6
7	.03	.10	.20	.31	.43	.53	.63	.70	.75	.07	.07	.14	.19	.24	.29	.32	.35	.37	7
8	.04	.13	.26	.41	.56	.70	.83	.92	.97	.09	.09	.18	.25	.32	.38	.42	.46	.48	8
9	.05	.16	.33	.52	.70	.88	1.04	1.16	1.23	.12	.12	.23	.31	.40	.48	.53	.56	.60	9
10	.06	.20	.40	.64	.87	1.09	1.29	1.43	1.52	.15	.15	.28	.38	.50	.59	.65	.71	.75	10
12	.08	.29	.58	.92	1.25	1.57	1.86	2.06	2.19	.21	.21	.40	.56	.72	.85	.94	1.03	1.07	12
15	.13	.45	.91	1.43	1.96	2.45	2.90	3.22	3.43	.33	.33	.63	.87	1.12	1.33	1.47	1.61	1.68	15
20	.22	.80	1.62	2.56	3.48	4.35	5.16	5.72	6.09	.59	.59	1.12	1.55	1.99	2.36	2.61	2.86	2.98	20
25	.35	1.26	2.53	3.98	5.44	6.80	8.06	8.94	9.52	.92	.92	1.75	2.43	3.11	3.69	4.08	4.47	4.66	25
30	.50	1.82	3.64	5.73	7.83	9.79	11.6	12.9	13.7	1.32	1.32	2.52	3.50	4.48	5.31	5.87	6.43	6.71	30
40	.90	3.23	6.46	10.2	13.9	17.4	20.6	22.9	24.4	2.36	2.36	4.48	6.22	7.96	9.45	10.4	11.4	11.9	40
K value	.036	0.13	0.26	0.41	0.56	0.70	0.83	0.92	0.98	.095	0.18	0.25	0.32	0.38	0.42	0.46	0.48	0.50	K value

Calculated from formula $h_f = K \frac{V^2}{2g}$ — For sudden enlargements $K = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$ — For sudden contractions $K = 0.5\left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right)$

Example: Assume $d_1 = 6"$; $d_2 = 10"$; velocity $d_1 = 10$ fps $\frac{d_1}{d_2} = 0.60$
From chart: for sudden enlargements: $h_f = 0.64$ feet
from sudden contractions: $h_f = 0.50$ feet

3-117

3. Guía para realizar el análisis de Pol por el método de HORNE



4.6.4 Análisis de brix

- El jugo que se obtiene de la prensa hidráulica se debe homogenizar (con agitación mecánica o manual).
- Tomar la alícuota para medición de brix.

4.6.5 Análisis de Pol por el Método de HORNE (método sugerido de análisis)

a. Preparación de la muestra: Se trasladan entre 125 a 150 mL de jugo a un beaker (se recomienda que el beaker posea una marca visual para estandarizar el volumen de jugo a clarificar).

b. Adición de agente clarificante: Se adiciona Octapol activado en una porción de 4.0 a 8.0 g, se sugiere contar con un recipiente en el cual previamente ya se haya realizado la calibración peso/volumen, esto elimina el paso de pesado que permite una buena clarificación, sin exceso; algunos de los ingredientes del Octapol interactúan con los azúcares presentes en el jugo, principalmente los dextrógiros, por lo que se pueden tener lecturas subestimadas de Pol.

NOTA 20: Para mejorar la clarificación se realiza una agitación mecánica que permite un mayor contacto entre el jugo y el agente clarificante, a su vez permite reducir el tiempo de contacto e inhibe la formación de brumos. Este paso se realiza en un tiempo de 10 a 15 segundos. La reacción de purificación por la agitación mecánica se acelera y se puede realizar la separación por filtrado inmediatamente.

c. Filtración: Durante el filtrado, los 5 a 10 mL de volumen inicial se utilizan para un lavado del beaker donde se recolecta la muestra, luego se descartan.

NOTA 21: La cantidad de jugo que se debe recolectar después de la filtración no debe ser menor de 75 mL. Se deben marcar los beaker para estandarizar el volumen de jugo recolectado.

d. Lectura Pol (tubo continuo): Al utilizar este tipo de tubo, se recomienda una limpieza con agua cada 10 ó 15 análisis. Tener los cuidados respectivos al momento de trasegar el jugo filtrado hacia el tubo de polarizar.

NOTA 22: Al iniciar cada turno (8-12 h), se realiza un revisión de la condición del tubo Polarimétrico (lentes – transparencia), si es necesario se realiza una limpieza profunda con una solución de ácido clorhídrico al 4%.

NOTA 23: En Guatemala se tiene aceptado el uso de la metodología ICUMSA para la medición de Pol de los jugos, los laboratorios que utilizan esta metodología definen las condiciones, consideraciones de equipos y accesorios para garantizar la fiabilidad de la información.

4.6.6 Resultados

a. Brix: *Lectura brix*

b. Pol HORNE1: $LecturaPol * (0.2605 - 0.0009882 * lecturaBrix)$

c. Pol ICUMSA: *Lectura Pol*

d. Condiciones del área de laboratorio: El área de análisis se debe mantener en condiciones de control de temperatura de entre 15-25°C.

4.6.7 Recomendación para equipo para homogenización de jugo

Se recomienda utilizar un equipo especial para realizar la homogenización de la muestra en dos etapas. Ver Figura 10.

a. Homogenizar la muestra que se obtiene de la prensa hidráulica, previo al análisis de brix.

b. En caso de utilizar el método de HORNE, para mejorar el contacto, homogenizar la muestra de jugo a la que se le ha adicionado el agente de clarificación (Octapol), de esta manera se usa una menor cantidad de producto y tiempo de análisis previo al filtrado.

4. Manual de procedimiento para realizar análisis de turbidez en HACH DR890

Method 8237

TURBIDITY (0 to 1000 FAU)

For water, wastewater, and seawater

Absorptometric Method*

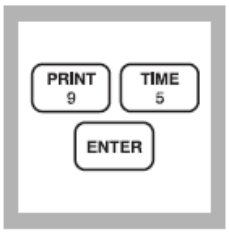
1. Enter the stored program number for turbidity.

Press: **PRGM**

The display will show:

PRGM ?

Note:
1 FAU=1 NTU=1 FTU when measuring formazin. These are not equivalent when measuring other types of standards or samples.

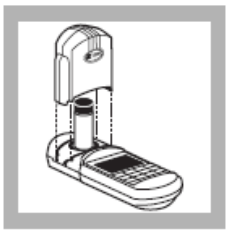


2. Press: **95 ENTER**
The display will show **FAU** and the **ZERO** icon.

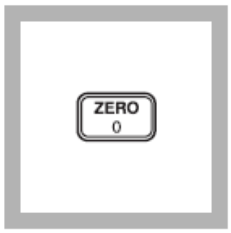
3. Fill a sample cell with 10 mL of deionized water (the blank).

Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.

Note: For highly colored samples, use a filtered portion of sample in place of the deionized water.



4. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



5. Press: **ZERO**
The cursor will move to the right, then the display will show:

0 FAU

6. Fill another sample cell with 10 mL of sample.

Note: Mix the sample well before transferring it to the sample cell.

Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.

7. Place the sample cell into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.

8. Press: **READ**
The cursor will move to the right, then the result in Formazin Attenuation Units (FAU) will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Section I).

* Adapted from FWPCA *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, 275 (1969)

595

Sampling and Storage

Collect samples in clean plastic or glass bottles. Analyze samples as soon as possible. Store samples up to 48 hours by cooling to 4 °C (39 °F). Analyze the sample at the same temperature as it was collected.

Accuracy Check

Standard Solution Method

The stored program has been calibrated using formazin, the primary standard for turbidity. A 200 FAU formazin solution for checking the accuracy of the test can be prepared using the following procedure.

1. Pipet 5.00 mL of a 4000 NTU Formazin stock solution into a 100-mL volumetric flask.

2. Dilute to the mark with deionized water. Prepare this daily.

Convenient stabilized turbidity stock solution (200 NTU StablCal™ Standard) is available from Hach.

Standard Adjust

To adjust the calibration curve using the reading obtained with the
200 FAU formazin standard, press the SETUP key and scroll (using the arrow keys) to the STD setup option. Press ENTER to activate the standard adjust option. Then enter **200** to edit the standard concentration to match that of the standard used. Press ENTER to complete the adjustment. See *Section 1, Standard Curve Adjustment* for more information.

Method Precision

Precision

In a single laboratory, using a turbidity standard solution of 200 FAU with the instrument, a single operator obtained a standard deviation of ±2 FAU.

Estimated Detection Limit

The estimated detection limit for program 95 is 21 FAU. For more information on the estimated detection limit, see *Section 1*.

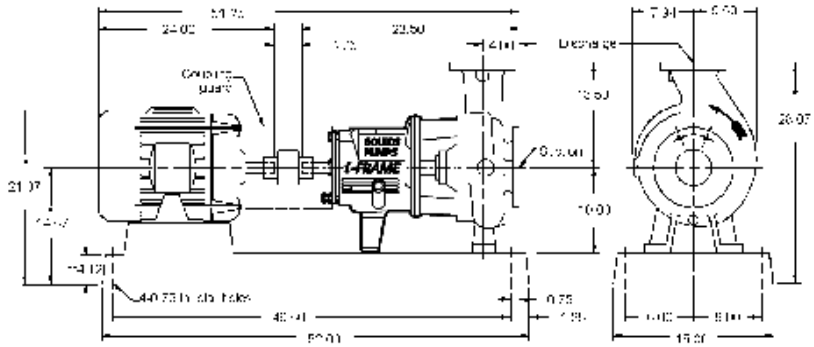
Anexo 3. Cotización de bomba centrífuga seleccionada para el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

Request #	Quoted by	Shipment	Lead-time
centrifugas proyecto Sant	WS	ex works fab.	8 semanas

Line	Item	Description	Qty	Unit Price	Total
7	GOULDS-PUMP	Goulds pump model: 3196 size: 4x6-10G MTi construction: Ductile iron casing and impeller, with 4140 shaft, packing and ialert 2 sensor motor: 20hp TEFC premium efficiency motor, 1800rpm, 3/60/460v, 256T frame with Goulds baseplate and coupling duty point: 615gpm @ 73ft	1.00	8,161.00	8,161.00

Anexo 4. Especificaciones de bomba centrífuga seleccionada para el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

GOULDS PUMPS **OUTLINE DRAWING** **Model 3196 MTi**
Size 4x6-10G
ITT



Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	6"	DRILLING ANSI 150#	FACING FF	FINISH	SERRATED
DISCH.FLANGE SIZE	4"	DRILLING ANSI 150#	FACING FF	FINISH	SERRATED
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)		CW			
TYPE OF LUBRICATION	FLOOD OIL			COOLED	NO
TYPE OF STUFFING BOX	STANDARD NON COOLED			COOLED	NO
TYPE OF SEALING	PACKING				

Weights and Measurements

PUMP	275.0 lb
MOTOR/CPLG	270.0/8.2 lb
BASEPLATE	155.0 lb
TOTAL	708.2 lb
GR.VOLUME w/BOX	37.8 ft³
GR.WEIGHT w/BOX	893.4 lb

Motor Specification

MOTOR BY	PUMP MFG	MOUNT BY	PUMP MFG	MFG.	WEG
FRAME	256T	POWER	20.0 hp	RPM	1800
PHASE	3	FREQUENCY	60 HZ	VOLTS	460
INSULATION	F	S.F.	1.15		
ENCLOSURE	SEVERE DUTY/MILL AND CHEMICAL PREMIUM EFFICIENCY				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
- INSTALL FOUNDATION BOLTS IN PIPE SLEEVES
- ALLOW FROM 0.75 to 1.50in. FOR GROUTING. SEE INSTRUCTION BOOK FOR DETAILS.

* Tolerance is -0.38 +0.38
** Foundation bolt grip thickness

Auxiliary Specification

COUPLING BY	PUMP MFG	CPLG TYPE	RENOLD OMEGA ARE ELASTOMER- RS-5 (STANDARD ORANGE
CPL GUARD BY	PUMP MFG	CPLG GUARD MATL	CARBON STEEL
BASEPLATE	CAST IRON CAMBER TOP D00057A		
PACKING	TFE IMPREGNATED		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

All dimensions are in inches.
Drawing is not to scale
Weights (lbs) are approximate

Copyright 2018
ITT Corp

FORM # ED0048 Program Version 1.67.0.0

Anexo 5. Curva característica de bomba centrífuga seleccionada para el sistema de recirculación de la torre de enfriamiento al tanque elevado.

Model: 3196	Size: 4x6-10G	Group: MTi	60Hz	RPM: 1770	Stages: 1

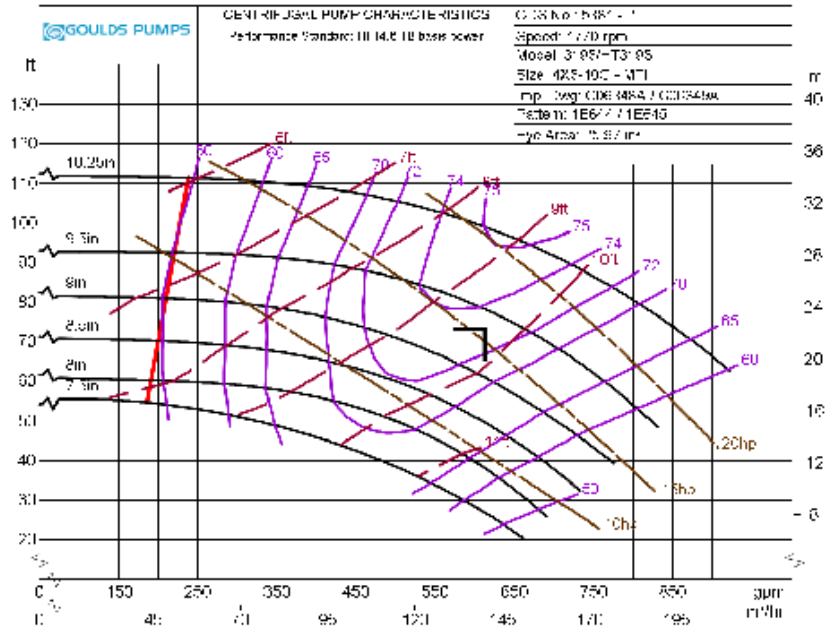
Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182654-7 Date : 10/17/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions

Liquid:	agua	Published Efficiency:	73.0 %	Suction Specific Speed:	9,717 gpm(US) ft
Temp.:	104.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	73.0 %	Min. Hydraulic Flow:	221.4 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	15.6 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	615.0 gpm	Non-Overloading Power:	17.1 hp		
TDH:	73.0 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	9.3750 in		
NPSHa:		NPSHr:	9.7 ft		
Solid size:		Shut off Head:	90.2 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	1.0000 in

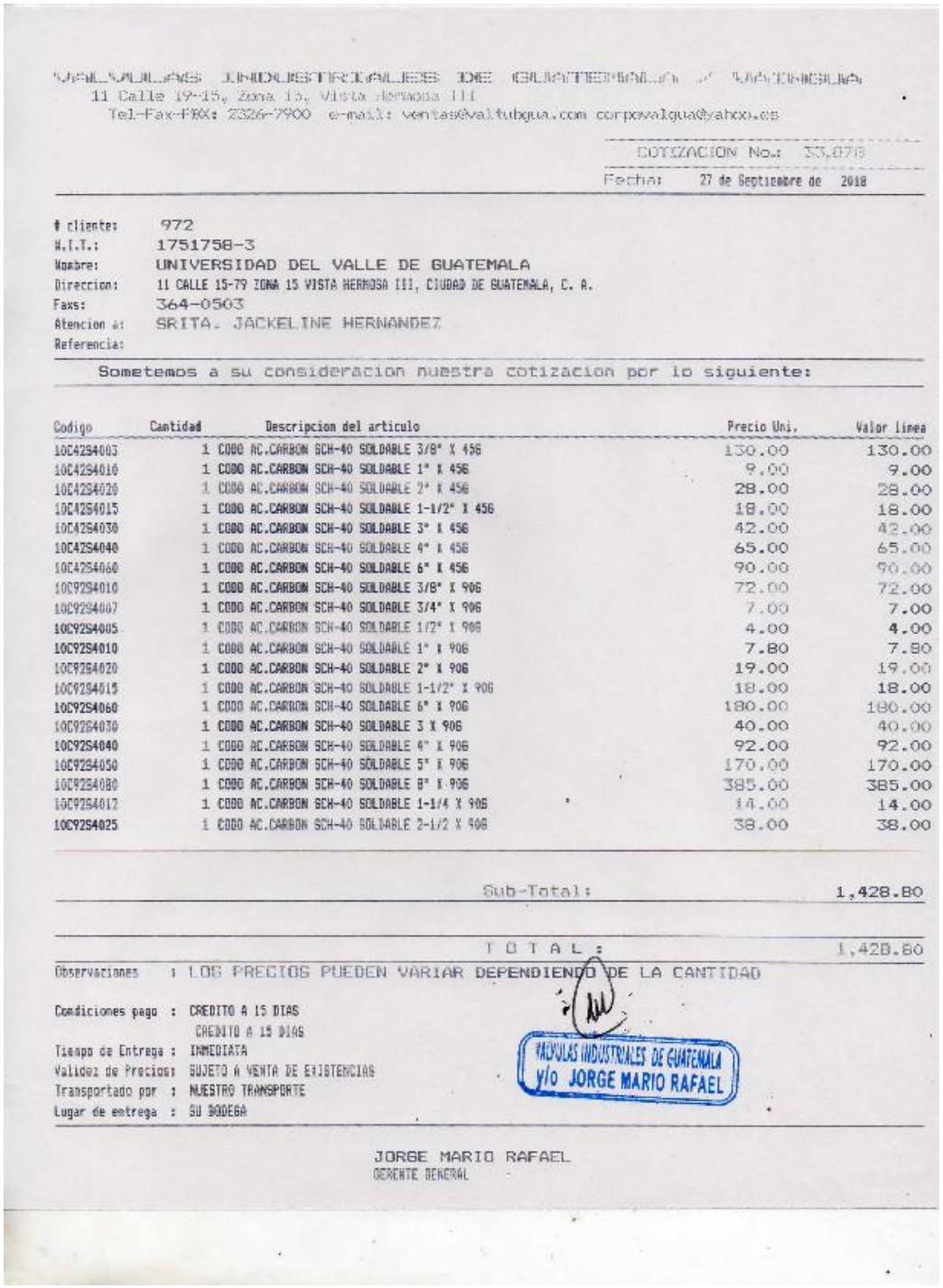
Pump Performance

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.



ITT

Anexo 6. Cotización realizada de los accesorios del sistema de recirculación propuesto.



[illegible]
11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III
Tel-Fax-PBX: 2326-7900 e-mail: ventas@valtubgua.com corpovalgua@yahoo.es

COTIZACION No.: 33,076

Fecha: 27 de Septiembre de 2018

cliente: 972
N.I.T.: 1751758-3
Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
Faxs: 364-0503
Atencion a: SRITA. JACKELINE HERNANDEZ
Referencia:

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor linea
10C42S4003	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 3/8" X 45G	130.00	130.00
10C42S4010	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1" X 45G	9.00	9.00
10C42S4020	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 2" X 45G	28.00	28.00
10C42S4015	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1-1/2" X 45G	18.00	18.00
10C42S4030	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 3" X 45G	42.00	42.00
10C42S4040	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 4" X 45G	65.00	65.00
10C42S4060	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 6" X 45G	90.00	90.00
10C92S4010	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 3/8" X 90G	72.00	72.00
10C92S4007	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 3/4" X 90G	7.00	7.00
10C92S4005	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1/2" X 90G	4.00	4.00
10C92S4010	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1" X 90G	7.80	7.80
10C92S4020	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 2" X 90G	19.00	19.00
10C92S4015	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1-1/2" X 90G	18.00	18.00
10C92S4060	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 6" X 90G	180.00	180.00
10C92S4030	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 3 X 90G	40.00	40.00
10C92S4040	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 4" X 90G	92.00	92.00
10C92S4050	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 5" X 90G	170.00	170.00
10C92S4080	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 8" X 90G	385.00	385.00
10C92S4012	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 1-1/4 X 90G	14.00	14.00
10C92S4025	1	CODO AC.CARBON SCH-40 SOLDABLE 2-1/2 X 90G	38.00	38.00

Sub-Total: 1,428.80

T O T A L : 1,428.80

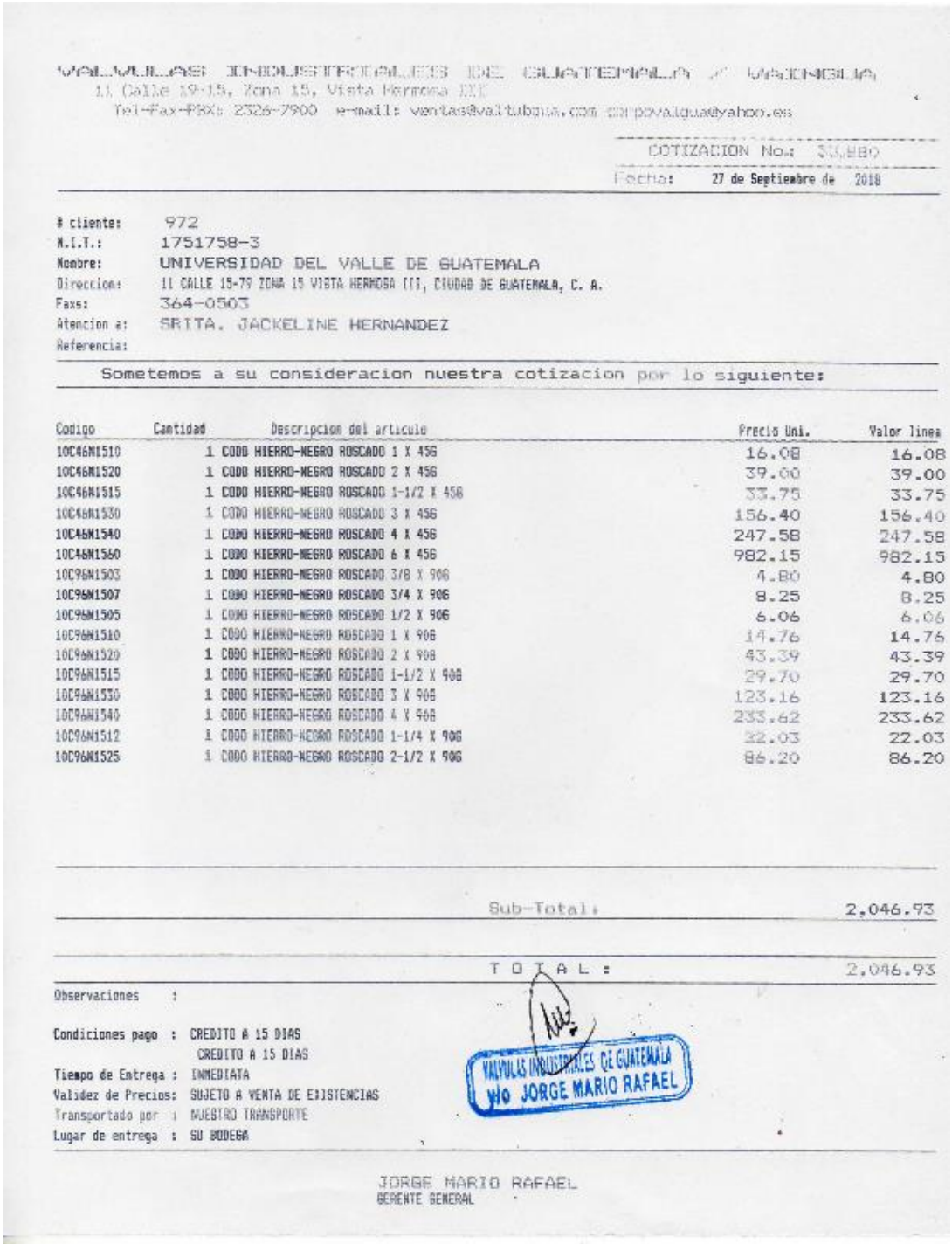
Observaciones : LOS PRECIOS PUEDEN VARIAR DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD

Condiciones pago : CREDITO A 15 DIAS
CREDITO A 15 DIAS
Tiempo de Entrega : INMEDIATA
Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS
Transportado por : NUESTRO TRANSPORTE
Lugar de entrega : SU BODEGA

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA
Y/O JORGE MARIO RAFAEL

JORGE MARIO RAFAEL
GERENTE GENERAL

Anexo 7. Cotización realizada de los accesorios del sistema de recirculación propuesto



VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA
11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III
Tel-Fax-PBX: 2326-7900 e-mail: ventas@valvulasin.com ventasvalvulasin@yahoo.es

COTIZACION No.: 33,880
Fecha: 27 de Septiembre de 2018

cliente: 972
N.I.T.: 1751758-3
Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
Faxs: 364-0503
Atencion a: SRITA. JACKELINE HERNANDEZ
Referencia:

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor linea
10C46N1510	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1 X 45G	16.08	16.08
10C46N1520	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 2 X 45G	39.00	39.00
10C46N1515	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1-1/2 X 45G	33.75	33.75
10C46N1530	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 3 X 45G	156.40	156.40
10C46N1540	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 4 X 45G	247.58	247.58
10C46N1560	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 6 X 45G	982.15	982.15
10C96N1503	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 3/8 X 90G	4.80	4.80
10C96N1507	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 3/4 X 90G	8.25	8.25
10C96N1505	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1/2 X 90G	6.06	6.06
10C96N1510	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1 X 90G	14.76	14.76
10C96N1520	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 2 X 90G	43.39	43.39
10C96N1515	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1-1/2 X 90G	29.70	29.70
10C96N1530	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 3 X 90G	123.16	123.16
10C96N1540	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 4 X 90G	233.62	233.62
10C96N1512	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 1-1/4 X 90G	22.03	22.03
10C96N1525	1	CODO HIERRO-NEGRO ROSCADO 2-1/2 X 90G	86.20	86.20

Sub-Total: 2,046.93

T O T A L : 2,046.93

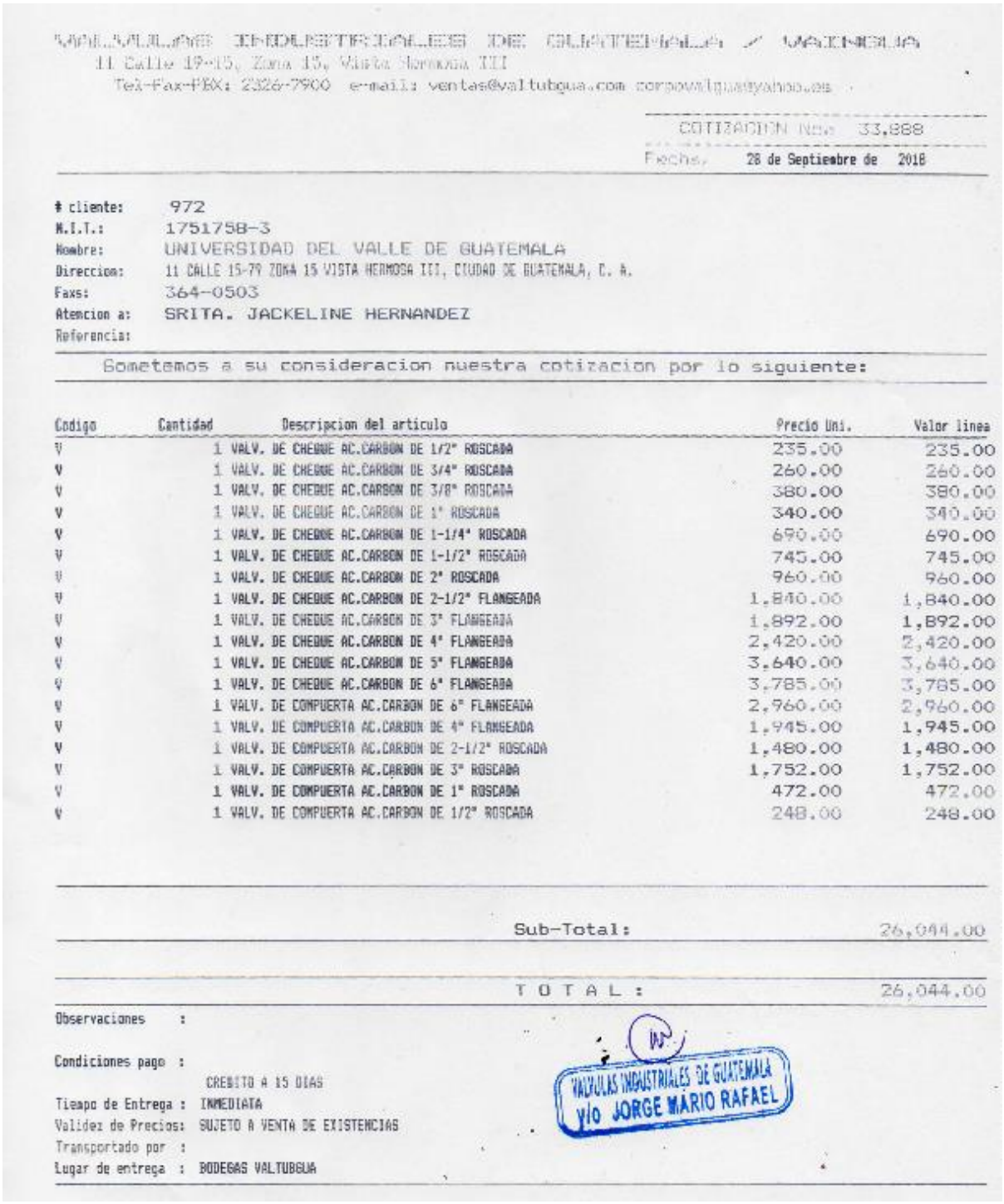
Observaciones :

Condiciones pago : CREDITO A 15 DIAS
CREDITO A 15 DIAS
Tiempo de Entrega : INMEDIATA
Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS
Transportado por : NUESTRO TRANSPORTE
Lugar de entrega : SU BODEGA

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA
Ho JORGE MARIO RAFAEL

JORGE MARIO RAFAEL
GERENTE GENERAL

Anexo 8. Cotización realizada de los accesorios del sistema de recirculación propuesto



VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA / MAQUINARIA
11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III
Tel-Fax-PBX: 2326-7900 e-mail: ventas@valtubgua.com corpovalguat@yahoo.es

COTIZACION No.: 33,888

Fecha: 28 de Septiembre de 2018

cliente: 972
N.I.T.: 1751758-3
Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
Faxs: 364-0503
Atencion a: SRITA. JACKELINE HERNANDEZ
Referencia:

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor linea
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 1/2" ROSCADA	235.00	235.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 3/4" ROSCADA	260.00	260.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 3/8" ROSCADA	380.00	380.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 1" ROSCADA	340.00	340.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 1-1/4" ROSCADA	690.00	690.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 1-1/2" ROSCADA	745.00	745.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 2" ROSCADA	960.00	960.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 2-1/2" FLANGEADA	1,840.00	1,840.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 3" FLANGEADA	1,892.00	1,892.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 4" FLANGEADA	2,420.00	2,420.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 5" FLANGEADA	3,640.00	3,640.00
V	1	VALV. DE CHEQUE AC.CARBON DE 6" FLANGEADA	3,785.00	3,785.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 6" FLANGEADA	2,960.00	2,960.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 4" FLANGEADA	1,945.00	1,945.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 2-1/2" ROSCADA	1,480.00	1,480.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 3" ROSCADA	1,752.00	1,752.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 1" ROSCADA	472.00	472.00
V	1	VALV. DE COMPUERTA AC.CARBON DE 1/2" ROSCADA	248.00	248.00

Sub-Total: 26,044.00

TOTAL: 26,044.00

Observaciones :

Condiciones pago : CREDITO A 15 DIAS
Tiempo de Entrega : INMEDIATA
Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS
Transportado por :
Lugar de entrega : BODEGAS VALTUBGUA

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA
V/o JORGE MARIO RAFAEL

Anexo 9. Cotización realizada de los accesorios del sistema de recirculación propuesto

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA y MAQUINARIA
11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III
Tel-Fax-PBX: 2326-7900 e-mail: ventas@valtubgua.com corpovalmua@yahoo.es

COTIZACION No.: 33.889
Fecha: 28 de Septiembre de 2018

\# cliente: 972
N.I.T.: 1751758-3
Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
Faxs: 364-0503
Atencion a: SRITA. JACKELINE HERNANDEZ
Referencia:

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor linea
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 1" ROSCADA	465.00	465.00
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 1/2" ROSCADA	260.00	260.00
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 2" ROSCADA	1,840.00	1,840.00
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 2-1/2" ROSCADA	2,945.00	2,945.00
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 4" FLANGEADA	3,760.00	3,760.00
V	1	VALV. DE GLOBO AC.CARBON DE 6" FLANGEADA	9,830.00	9,830.00
V	1	VALV. DE BOLA AC.CARBON DE 1/2" ROSCADA	86.00	86.00
V	1	VALV. DE BOLA AC.CARBON DE 1" ROSCADA	142.00	142.00
V	1	VALV. DE BOLA AC.CARBON DE 2" ROSCADA	430.00	430.00

Sub-Total: 19,758.00

T O T A L : 19,758.00

Observaciones :

Condiciones pago : CREDITO A 15 DIAS
Tiempo de Entrega : INMEDIATA
Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS
Transportado por :
Lugar de entrega : BODEGAS VALTUBGUA

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA
V/o JORGE MARIO RAFAEL

Figura 111. Cotización de las bombas centrífugas

Southern Industrial Sales Corp
9130 Sunset Drive
Miami FL 33173
ph 305-275-6299
fax 305-275-6259

Quote

Date	Quotation #
10/4/2018	182592

Name / Address
INGENIO SANTA ANA Jackeline Hernandez

Request #	Quoted by	Shipment	Lead-time
centrifugas proyecto Sant	WS	ex works fab.	10-12 semanas

Line	Item	Description	Qty	Unit Price	Total
1	GOULDS-PUMP	centrifugas proyecto Santa Ana bomba 1 Goulds pump model: 3196 size: 1.5x3-8 STi construction: Iron casing and impeller, 4140 shaft, with packing, ialert 2 sensor motor: 2hp TEFC premium efficiency motor, 3/60/460v, 1800rpm, 145T frame baseplate and coupling duty point: 93gpm @ 39.4ft	1.00	4,068.64	4,068.64
2	GOULDS-PUMP	bomba 2 Goulds pump model: 3196 size: 2x3-6 STi construction: Iron casing and impeller, 4140 shaft, with packing, ialert 2 sensor motor: 2hp TEFC premium efficiency motor, 3/60/460v, 1800rpm, 145T frame baseplate and coupling duty point: 152gpm @ 26.2ft	1.00	3,942.16	3,942.16

UNPRICED SUMMARY FORM

Customer : SOUTHERN INDUSTRIAL SALES

Main Offer

ITEM NO	QTY	MODEL	SIZE	CONSTRUCTION	DRIVER RATING/FRAME	RPM
ITEM 182592-1	1	3196	1.5x3-8 STi	Ductile iron	2.0 hp/145T	1800
ITEM 182592-2	1	3196	2x3-6 STi	Ductile iron	2.0 hp/145T	1800
ITEM 182592-3	1	3196	3x4-10H MTi	Ductile iron	20.0 hp/256T	1800
ITEM 182592-4	1	3196	2x3-8 MTi	Ductile iron	5.0 hp/184T	1800
ITEM 182592-5	1	3196	4x6-10H MTi	Ductile iron	7.5 hp/254T	1200

TOTAL 5 units (Main offer)

Figura 112. Especificaciones de las bombas

Figura 113. Especificaciones de las bombas (cont.)

SOUTHERN INDUSTRIAL SALES

October 4, 2018

Item No: ITEM 182592-1

MODEL: 3196 STi SIZE: 1.5x3-8 QTY: 1

i-FRAME™

Operating Conditions

SERVICE

LIQUID	agua , Rated Temp. 104.0 deg F, SP.GR 1.000, Viscosity 1.000 cp, Rated/Max. suction pressure 0.0 / 0.0 psi g
CAPACITY Rated	93.0 gpm
HEAD	39.4 (ft)

Performance at 1750 RPM per HI 14.6 1B basis power

PUBLISHED EFFY	56.0% (CDS)
RATED EFFY	56.0%
RATED POWER	1.7 hp (Run out 2.0 hp)
NPSHR	2.6 ft
DISCH PRESSURE (R)	17.6 psi g (23.2 psi g @ Shut off) based on 0.0 psi g rated suction pressure
PERF. CURVE	2099-3 (Rotation CW viewed from coupling end)
SHUT OFF HEAD	53.7 ft
MIN. FLOW	Continuous Stable: 5.1 gpm Hydraulic: 5.1 gpm Thermal: N/A

Materials

CONSTRUCTION	Ductile iron
CASING	Ductile iron (max.casing pressure @ rated temperature 249.4 psi g)
ST.BOX COVER	Ductile iron
IMPELLER	Ductile iron - Open (6.7500 in rated, max=8.0000 in, min=5.0000 in)
CASING GASKETS	Aramid Fiber with EPDM and Silicate Filler
IMPELLER O-RING	Teflon
SHAFT MATERIAL	SAE 4140
SHAFT SLEEVE	316SS
LUBRICATION	Flood oil
ST.BOX TYPE	Standard non cooled
GLAND	316SS Plain
BEARINGS	6207 (Inboard) 3306 (Outboard)
COUPLING	Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-2 (standard orange element)-S.F. 1.00
COUPLING GUARD	Carbon steel
BASEPLATE	Cast iron camber top B00061A

Sealing Method

PACKING	TFE Impregnated

Flanges

150# flat face

Figura 114. Especificaciones de las bombas (cont.)

Frame Connections

Bearing frame drain
Frame cooler access
Oil fill connection

Frame features

Ductile iron frame ring
Inpro VBXX-D Hybrid Bearing Isolators
Premium Severe Duty Thrust Bearings
i-ALERT®2 Bluetooth Smart Equipment Health Monitor

Assembly and Testing

Casing & Cover - Standard hydro test
Impeller balanced to ISO G6.3

Painting

Goulds Blue standard painting

Warranty

5 Year Extended Warranty (All the components, manufactured by ITT Goulds pumps, in the liquid end and power end are covered).

Driver : Electric motor Manufacturer : WEG

FURNISHED BY	Pump mfg	MOUNTED BY	Pump mfg
RATING	2.0 hp (1.5 KW)	ENCLOSURE	Severe Duty/Mill and Chemical Premium Efficiency
PHASE/FREQ/VOLTS	3/60 Hz/460	SPEED	1800 RPM
INSULATION/SF	F/1.15	FRAME	145T

Weights and Measurements

TOTAL NET UNIT WEIGHT / VOLUME	**235.0 lb / 3.5 ft³**
TOTAL GROSS UNIT WEIGHT / GROSS VOLUME	**306.0 lb / 14.1 ft³**

Program Version 1.67.0.0

Drawing Revision Limit

Drawings returned with status approved as noted or revise and re-submit will be corrected and resubmitted only once. Thereafter, additional comments or revisions to these drawings will incur a charge of $250 per drawing.

This proposal reflects the intended scope from the customer specifications supplied at the time of quotation. Additional specifications, requirements and scope presented at time of award or during order execution outside the original bid scope request, is subject to a change order with a potential cost and lead-time impact. ITT reserves the right to present engineering charges for more than two revision cycles on submittal drawings, provided these two revision cycles cover the intent of the specifications. ITT requires customer to provide all drawing comments applicable to the specification within the first submission return.

Our offer does not include specific review and incorporation of any Statutory or Regulatory Requirements and the offer is limited to the requirements of the design specifications. Should any Statutory or Regulatory requirements need to be reviewed and incorporated then the Customer is responsible to identify those and provide copies for review and revision of our offer.

Our quotation is offered in accordance with our comments and exceptions identified in our proposal.

Click here to download the pump Bulletin

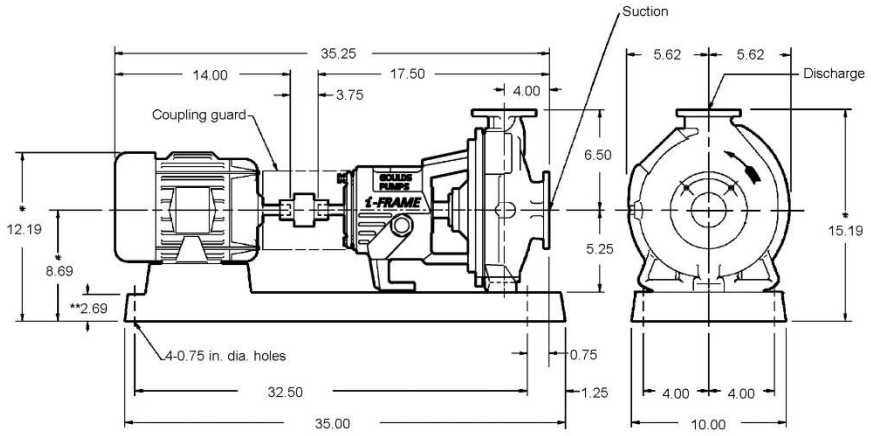
Click here to learn more about the new *i-FRAME™*

ITT

Page 2

Figura 115. Especificaciones de las bombas (cont.)

GOULDS PUMPS **OUTLINE DRAWING** **Model 3196 STi**
Size 1.5x3-8 ITT



Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	*3"*	DRILLING	*ANSI 150#*	FACING	*FF*	FINISH	*SERRATED*
DISCH.FLANGE SIZE	*1.5"*	DRILLING	*ANSI 150#*	FACING	*FF*	FINISH	*SERRATED*
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)				*CW*			
TYPE OF LUBRICATION	*FLOOD OIL*					COOLED	*NO*
TYPE OF STUFFING BOX	*STANDARD NON COOLED*					COOLED	*NO*
TYPE OF SEALING	*PACKING*						

Weights and Measurements

PUMP
MOTOR/CPLG
BASEPLATE
TOTAL
GR.VOLUME w/BOX
GR.WEIGHT w/BOX

Motor Specification

MOTOR BY	*PUMP MFG*	MOUNT BY	*PUMP MFG*	MFG.	*WEG*
FRAME	*145T*	POWER	*2.0 hp*	RPM	*1800*
PHASE	*3*	FREQUENCY	*60 HZ*	VOLTS	*460*
INSULATION	*F*	S.F.	*1.15*		
ENCLOSURE	*SEVERE DUTY/MILL AND CHEMICAL PREMIUM EFFICIENCY*				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
- INSTALL FOUNDATION BOLTS IN PIPE SLEEVES
- ALLOW FROM 0.75 to 1.50in. FOR GROUTING. SEE INSTRUCTION BOOK FOR DETAILS.

* Tolerance is -0.38 +0.38

- DISCHARGE FLANGE HAS 4-1/2-13 UNC TAPPED HOLES

** Foundation bolt grip thickness

Auxiliary Specification

COUPLING BY	*PUMP MFG*	CPLG TYPE	*REXNORD OMEGA REX ELASTOMER- ES-2 (STANDARD ORANGE*
CPL GUARD BY	*PUMP MFG*	CPLG GUARD MATL	*CARBON STEEL*
BASEPLATE	*CAST IRON CAMBER TOP B00061A*		
PACKING	*TFE IMPREGNATED*		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

Customer: SOUTHERN INDUSTRIAL SALES
Serial No:
Customer P.O. No:
Item No: ITEM 182592-1

Service:

Copyright 2010 ITT Corp

All dimensions are in inches.
Drawing is not to scale
Weights (lbs) are approximate

FORM # ED0062 Program Version 1.67.0.0

Figura 116. Especificaciones de las bombas (cont.)

Model: 3196	Size: 1.5x3-8	Group: STi	60Hz	RPM: 1750	Stages: 1

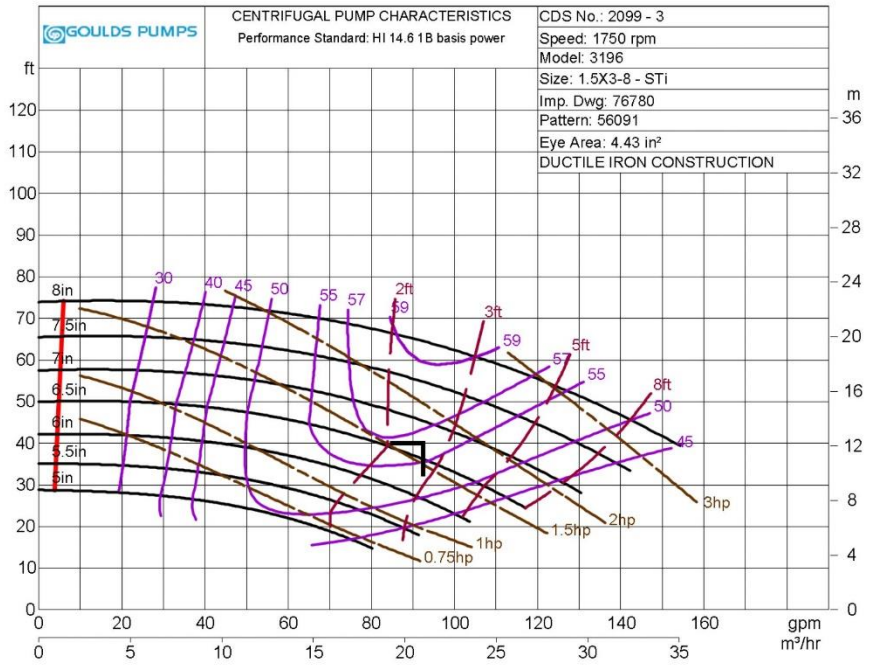
Job/Inq.No. :
Purchaser : SOUTHERN INDUSTRIAL SALES
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182592-1 Date : 10/04/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions

Liquid:	agua	Published Efficiency:	56.0 %	Suction Specific Speed:	8,195 gpm(US) ft
Temp.:	104.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	56.0 %	Min. Hydraulic Flow:	5.1 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	1.7 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	93.0 gpm	Non-Overloading Power:	2.0 hp		
TDH:	39.4 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	6.7500 in		
NPSHa:		NPSHr:	2.6 ft		
Solid size:		Shut off Head:	53.7 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	0.4380 in

Pump Performance

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.



ITT

Figura 117. Especificaciones de las bombas (cont.)

GOULDS PUMPS SOUTHERN INDUSTRIAL SALES | GOULDS

SOUTHERN INDUSTRIAL SALES

October 4, 2018

Item No: ITEM 182592-2

MODEL: 3196 STi SIZE: 2x3-6 QTY: 1

i-FRAME™

Operating Conditions

SERVICE

LIQUID	agua , Rated Temp. 90.0 deg F, SP.GR 1.000, Viscosity 1.000 cp, Rated/Max. suction pressure 0.0 / 0.0 psi g
CAPACITY Rated	152.0 gpm
HEAD	26.2 (ft)

Performance at 1750 RPM per HI 14.6 1B basis power

PUBLISHED EFFY	66.0% (CDS)
RATED EFFY	66.0%
RATED POWER	1.6 hp (Run out 1.8 hp)
NPSHR	4.5 ft
DISCH PRESSURE (R)	12.1 psi g (14.7 psi g @ Shut off) based on 0.0 psi g rated suction pressure
PERF. CURVE	2229-6 (Rotation CW viewed from coupling end)
SHUT OFF HEAD	33.9 ft
MIN. FLOW	Continuous Stable: 8.5 gpm Hydraulic: 8.5 gpm Thermal: N/A

Materials

CONSTRUCTION	Ductile iron
CASING	Ductile iron (max.casing pressure @ rated temperature 250.0 psi g)
ST.BOX COVER	Ductile iron
IMPELLER	Ductile iron - Open (5.7500 in rated, max=6.0620 in, min=4.5000 in)
CASING GASKETS	Aramid Fiber with EPDM and Silicate Filler
IMPELLER O-RING	Teflon
SHAFT MATERIAL	SAE 4140
SHAFT SLEEVE	316SS
LUBRICATION	Flood oil
ST.BOX TYPE	Standard non cooled
GLAND	316SS Plain
BEARINGS	6207 (Inboard) 3306 (Outboard)
COUPLING	Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-2 (standard orange element)-S.F. 1.00
COUPLING GUARD	Carbon steel
BASEPLATE	Cast iron camber top B00061A

Sealing Method

PACKING	TFE Impregnated

Flanges

150# flat face

ITT

Page 1

Figura 118. Especificaciones de las bombas (cont.)

Frame Connections

Bearing frame drain
Frame cooler access
Oil fill connection

Frame features

Ductile iron frame adapter
Inpro VBXX-D Hybrid Bearing Isolators
Premium Severe Duty Thrust Bearings
i-ALERT®2 Bluetooth Smart Equipment Health Monitor

Assembly and Testing

Casing & Cover - Standard hydro test
Impeller balanced to ISO G6.3

Painting

Goulds Blue standard painting

Warranty

5 Year Extended Warranty (All the components, manufactured by ITT Goulds pumps, in the liquid end and power end are covered).

Driver : Electric motor Manufacturer : WEG

FURNISHED BY	Pump mfg	MOUNTED BY	Pump mfg
RATING	2.0 hp (1.5 KW)	ENCLOSURE	Severe Duty/Mill and Chemical Premium Efficiency
PHASE/FREQ/VOLTS	3/60 Hz/460	SPEED	1800 RPM
INSULATION/SF	F/1.15	FRAME	145T

Weights and Measurements

TOTAL NET UNIT WEIGHT / VOLUME	**222.0 lb / 3.1 ft³**
TOTAL GROSS UNIT WEIGHT / GROSS VOLUME	**289.0 lb / 13.3 ft³**

Program Version 1.67.0.0

Drawing Revision Limit

Drawings returned with status approved as noted or revise and re-submit will be corrected and resubmitted only once. Thereafter, additional comments or revisions to these drawings will incur a charge of $250 per drawing.

This proposal reflects the intended scope from the customer specifications supplied at the time of quotation. Additional specifications, requirements and scope presented at time of award or during order execution outside the original bid scope request, is subject to a change order with a potential cost and lead-time impact. ITT reserves the right to present engineering charges for more than two revision cycles on submittal drawings, provided these two revision cycles cover the intent of the specifications. ITT requires customer to provide all drawing comments applicable to the specification within the first submission return.

Our offer does not include specific review and incorporation of any Statutory or Regulatory Requirements and the offer is limited to the requirements of the design specifications. Should any Statutory or Regulatory requirements need to be reviewed and incorporated then the Customer is responsible to identify those and provide copies for review and revision of our offer.

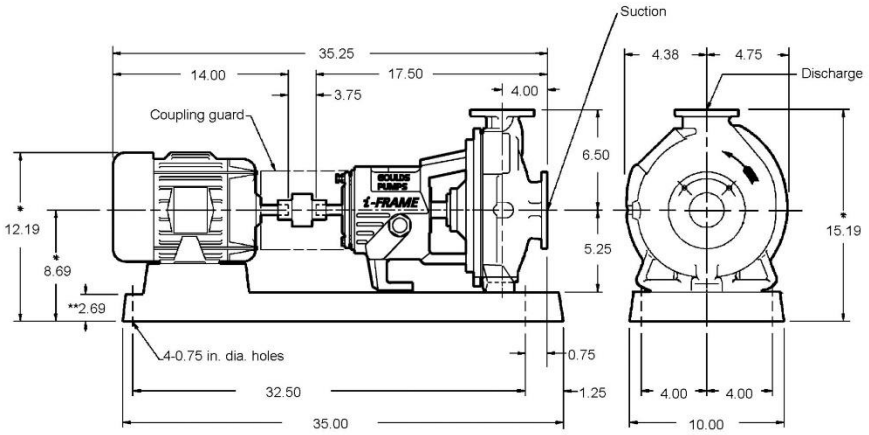
Our quotation is offered in accordance with our comments and exceptions identified in our proposal.

Click here to download the pump Bulletin

Click here to learn more about the new *i-FRAME™*

Figura 119. Especificaciones de las bombas (cont).

GOULDS PUMPS **OUTLINE DRAWING** **Model 3196 STi**
Size 2x3-6
ITT



Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	*3"*	DRILLING	*ANSI 150#*	FACING	*FF*	FINISH	*SERRATED*
DISCH.FLANGE SIZE	*2"*	DRILLING	*ANSI 150#*	FACING	*FF*	FINISH	*SERRATED*
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)				*CW*			
TYPE OF LUBRICATION	*FLOOD OIL*					COOLED	*NO*
TYPE OF STUFFING BOX	*STANDARD NON COOLED*					COOLED	*NO*
TYPE OF SEALING	*PACKING*						

Weights and Measurements

PUMP
MOTOR/CPLG
BASEPLATE
TOTAL
GR.VOLUME w/BOX
GR.WEIGHT w/BOX

Motor Specification

MOTOR BY	*PUMP MFG*	MOUNT BY	*PUMP MFG*	MFG.	*WEG*
FRAME	*145T*	POWER	*2.0 hp*	RPM	*1800*
PHASE	*3*	FREQUENCY	*60 HZ*	VOLTS	*460*
INSULATION	*F*	S.F.	*1.15*		
ENCLOSURE	*SEVERE DUTY/MILL AND CHEMICAL PREMIUM EFFICIENCY*				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
- INSTALL FOUNDATION BOLTS IN PIPE SLEEVES
- ALLOW FROM 0.75 to 1.50in. FOR GROUTING. SEE INSTRUCTION BOOK FOR DETAILS.

* Tolerance is -0.38 +0.38
** Foundation bolt grip thickness

Auxiliary Specification

COUPLING BY	*PUMP MFG*	CPLG TYPE	*REXNORD OMEGA REX ELASTOMER- ES-2 (STANDARD ORANGE*
CPL GUARD BY	*PUMP MFG*	CPLG GUARD MATL	*CARBON STEEL*
BASEPLATE	*CAST IRON CAMBER TOP B00061A*		
PACKING	*TFE IMPREGNATED*		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

All dimensions are in inches.
Drawing is not to scale
Weights (lbs) are approximate

Copyright 2010
ITT Corp

FORM # ED0062 Program Version 1.67.0.0

Figura 120. Especificaciones de las bombas (cont.)

Model: 3196	Size: 2x3-6	Group: STi	60Hz	RPM: 1750	Stages: 1

Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182592-2 Date : 10/04/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions

Liquid:	agua	Published Efficiency:	66.0 %	Suction Specific Speed:	8,473 gpm(US) ft
Temp.:	90.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	66.0 %	Min. Hydraulic Flow:	8.5 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	1.6 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	152.0 gpm	Non-Overloading Power:	1.8 hp		
TDH:	26.2 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	5.7500 in		
NPSHa:		NPSHr:	4.5 ft		
Solid size:		Shut off Head:	33.9 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	0.3750 in

Pump Performance

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.

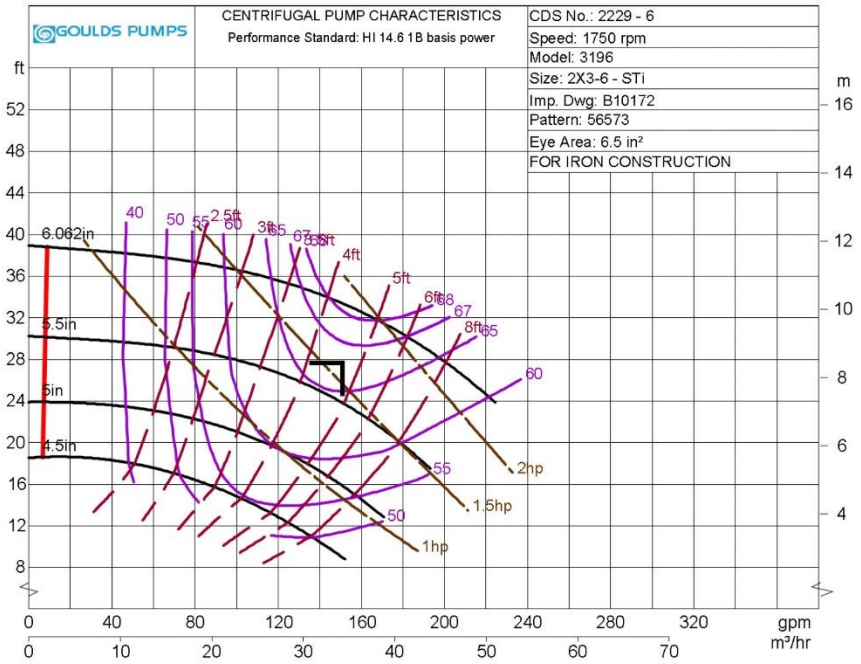


Figura 121. Ficha técnica anticorrosivo

KEM INDUSTRIA

SHERWIN WILLIAMS

LIBRE Plomo y Mercurio

ANTICORROSIVO
KROMIK UNIVERSAL HS METAL PRIMER

B50ASA1 GRIS
B50NSA1 CAFÉ ROJIZO
B50WSA4 BLANCO

Revisado 09/2017

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

ANTICORROSIVO KEM KROMIK UNIVERSAL HS, es un primario de resina alquídica modificada con pigmentos anticorrosivos diseñado para ser utilizado sobre substratos de hierro y acero en ambientes moderados y severos. Ofrece una excelente protección anticorrosiva y es universal: puede recubrirse con acabados alquídicos, epóxicos y poliuretanos para formar sistemas de alto desempeño.

- Alto espesor de película
- Resistente a la corrosión
- Puede recubrirse con alquídicos, epóxicos y poliuretanos.

USOS RECOMENDADOS

Para uso sobre acero preparado:

- Primario Universal
- Primario de recubrimiento en taller (Shop Primer Universal)
- Primario para mantenimiento
- Primario para interiores / exteriores
- Acero estructural, vigas H, viga macomber
- Equipo/Maquinaria
- Tanques y tuberías
- Barandales, Pasamanos.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

Acabado: Mate
Color: Gris, Café Rojizo y Blanco

Sólidos en Volumen: 52% ± 2%
Sólidos en Peso: 70% ± 2%

RECOMENDACIONES DE ESPESORES y RENDIMIENTOS POR CAPA		
ESPESORES	**STANDARD**	
	Min	**Max**
Húmedo mils (micrones)	**4.0 (100)**	**6.0 (150)**
Seco mils (micrones)	**2.0 (50)**	**3.0 (75)**
Rendimiento mt²/gal (pie2/gal)	25 (269) – 38 (408)	
Rendimiento Teórico a 1 mils EPS mt²/gal (pie2/gal)	77 (834)	
NOTA: Las aplicaciones con brocha o rodillo podrían requerir capas múltiples para lograr el máximo espesor de película, y uniformidad en la apariencia.		

TIEMPO DE SECADO 6.0 MILS HÚMEDO (150 MICRONES) @ 50% RH:	
SECADO	**77°F/25°C**
Tocar	30 min
Manipular:	1 hora
Retocar a si mismo o con alquídicos	1 hora
Retocar con productos alto desempeño, epóxicos y poliuretanos	Min 16 horas – Max 24 horas
Curado	7 días
***Nota:** Los tiempos de secado, dependen de la Temperatura, humedad relativa y espesores de película.*	

La Aplicación del recubrimiento por arriba del máximo o por abajo del mínimo espesor de aplicación recomendado podría afectar adversamente el desempeño del recubrimiento.

Vida Útil: 36 meses, sin abrir. Almacenar en ambientes entre 4.5 **°C** (40°F) y 38°C (100°F).

Punto de Ignición: 27°C (80°F), PMCC

Reductor/Limpieza: Reductor Industrial R2K4

Brocha/Rodillo: Solvente Mineral R1K4

Limpieza: Thinner 128 R7K128

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Sustrato: Acero
Preparación de Superficie: SSPC-SP6
Sistema Probado: 1 capa de Kromik Universal HS – Metal Primer @ 3.0 mils (75 micrones) deEPS.

Nombre Test	Método	Resultado
Resistencia al Impacto	ASTM D2794	70 in lbs
Dureza de Lápiz	ASTM D3363	H
Resistencia a Cámara Salina	ASTMB117, 500 Horas	Buena
Resistencia al Calor Seco	ASTM2485	200 °F (93°)

- Recubrible con Epóxico, Poliuretano, Alquídicos y Látex
- Rápido Secado, 30 min
- Resistencia al Calor Seco: 93ºC (200ºF)
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la corrosión
- Aplicación sobre hierro y acero
- Libre de Plomo y Mercurio
- Excelente adherencia a diferentes superficies metálicas debidamente preparadas
- NO USO EN INMERSION.

Sherwin Williams de Centro América 1/4

Figura 122. Ficha técnica anticorrosivo (cont.)

KEM INDUSTRIA

ANTICORROSIVO
KROMIK UNIVERSAL HS METAL PRIMER

B50ASA1 GRIS
B50NSA1 CAFÉ ROJIZO
B50WSA4 BLANCO

Revisado 09/2017

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

SISTEMAS RECOMENDADOS

Espesores Secos de Película/Capa

	Mils	(Micrones)
ACERO-HIERRO.		
SISTEMA CON ACABADO ALQUIDICO:		
1 Capa Ant Kem Kromik Universal HS Metal Primer	3.0 – 4.0	(75 - 100)
1 – 2 Capas Esmalte Alquídico Kem Lustral ó	1.0 – 1.5	(25 - 38)
Esmalte Alquídico Sistema 4000 ó		
Esmalte Alquídico Faster Dry	1.5 – 2.0	(38 - 50)
SISTEMA CON ACABADO POLIURETANO:		
1 Capa Ant Kem Kromik Universal HS Metal Primer	3.0 – 4.0	(75 - 100)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 - 3.0	(50 - 75)
SISTEMA CON ACABADO EPÓXICO:		
1 Capa Ant Kem Kromik Universal HS Metal Primer	3.0 – 4.0	(75 - 100)
1 – 2 Capas Esmalte Epóxico Kem Cati Coat	2.0 – 3.0	(50 - 75)

Los sistemas enlistados arriba son representativos del uso del producto. Otros sistemas podrían ser apropiados

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y en condiciones sanas. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto y demás material extraño, para asegurar una adherencia adecuada.

Refiérase al boletín de aplicación del producto para una información detallada de la preparación de la superficie.

Mínima preparación recomendada de la superficie:
Hierro y Acero SSPC - SP2 / SP3

	Condición de la Superficie	ISO 8501-1 BS7079:A1	STD Sueco SIS055900	SSPC	NACE
Metal Blanco		Sa 3	Sa 3	SP 5	1
Metal casi Blanco		Sa 2.5	Sa 2.5	SP 10	2
Chorro a Gris comercial		Sa 2	Sa 2	SP 6	3
Chorro Grado Brush-off		Sa 1	Sa 1	SP 7	4
Limpieza con herramienta manual	Oxidado	C St 2	C St 2	SP 2	-
	Picado y oxidado	D St 2	D St 2	SP 2	-
Limpieza con herramienta mecánica	Oxidado	C St 3	C St 3	SP 3	-
	Picado y oxidado	D St 3	D St 3	SP 3	-

ENTINTADO

NO ENTINTE.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura: 15°C(59°F) mínima, 43°C(110°F) máxima (aire, superficie, y material)
Al menos 5°F (2.8°C) por arriba del punto de rocío
Humedad Relativa: 85% máxima.

Refiérase al Boletín de Aplicación del Producto para información detallada de aplicación.

PRESENTACION

Empaque: 1 galón (3.78 L) y 5 galones (18.9 L)
Peso por galón: 12.1 ± 0.5 lb/gl (1.45 Kg/L). Peso varía por color

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usar. La Información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones.

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, para obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

GARANTIA

Sherwin Williams de C.A. garantiza la satisfacción de sus clientes con la calidad del producto que cumple con las especificaciones y usos para los que ha sido fabricado. Esta garantía queda supeditada a que el producto se aplique correctamente sobre una superficie correctamente preparada de acuerdo a instrucciones del fabricante. En caso que se encuentre el producto defectuoso en el envase SWCA puede optar por remplazar una cantidad equivalente del mismo producto o rembolsar el precio original hasta 6 meses después de la fecha de compra. En todo caso de reclamos es indispensable mostrar la factura original y presentar el reclamo por escrito a SWCA. SWCA se reserva el derecho de aceptar o rechazar cada reclamo después de analizar cada caso individualmente. La presente garantía no será aplicable cuando los fallos sean el efecto de someter el producto a condiciones diferentes para las que fue diseñado y sin seguir las instrucciones y especificaciones de la hoja técnica. Esta garantía no será aplicable cuando falle el sustrato sobre el cual se aplico la pintura.

Figura 123. Ficha técnica anticorrosivo (cont.)

KEM INDUSTRIA

SHERWIN WILLIAMS.

LIBRE Plomo y Mercurio

ANTICORROSIVO
KROMIK UNIVERSAL HS METAL PRIMER

B50ASA1 GRIS
B50NSA1 CAFÉ ROJIZO
B50WSA4 BLANCO

Revisado 09/2017

BOLETIN DE APLICACIÓN

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y en buenas condiciones. Remueva todo el aceite, polvo, grasas, suciedad, óxido suelto y demás material extraño para asegurar una adherencia adecuada.

Hierro y Acero
La preparación mínima de la superficie es la limpieza con herramienta de mano de acuerdo con SSPC-SP2. Remueva todo el aceite y grasas de la superficie limpiando con solventes de acuerdo con SSPC-SP1. Para un mejor desempeño, utilice la Preparación a chorro comercial de acuerdo con SSPC-SP6, limpiar a chorro toda la superficie utilizando un abrasivo agudo y angular para un perfil de superficie óptimo (2 mils). Imprima la superficie con Primario de cualquier acero desnudo después de 8 horas o antes de que el oxidamiento inmediato ocurra.

Superficies Previamente Pintadas
Si están en condiciones sanas, limpie la superficie de todo material extraño. Los recubrimientos y superficies lisas, duras o brillantes deben ser opacados lijando la superficie. Aplique en un área de prueba, permita que seque la pintura una semana antes de probar la adherencia. Si la adherencia es pobre, o si el producto ataca el acabado previo, podría ser necesario remover el recubrimiento previo. Si la pintura se está desprendiendo o está mal intemperizada, limpie la superficie para sanar el substrato y trate como una superficie nueva como en la parte de arriba.

Como una Capa "Barrera":
Si se necesita recubrir una superficie previamente pintada con recubrimientos resistentes a los químicos o a los solventes fuertes, se puede utilizar el Anticorrosivo Kromik Universal Metal Primer como una capa de barrera para prevenir el desprendimiento. Aplique una capa del Anticorrosivo Kromik Universal Metal Primer en un área pequeña para probar la adherencia o el sangrado. Si hay evidencia de adherencia pobre o de sangrado, limpie la superficie hasta el substrato

	Condición de la Superficie	ISO 8501-1 BS7079:A1	STD Sueco SISO55900	SSPC	NACE
Metal Blanco		Sa 3	Sa 3	SP 5	1
Metal casi Blanco		Sa 2.5	Sa 2.5	SP 10	2
Chorro a Gris comercial		Sa 2	Sa 2	SP 6	3
Chorro Grado Brush-off		Sa 1	Sa 1	SP 7	4
Limpieza con herramienta manual	Oxidado	C St 2	C St 2	SP 2	-
	Picado y oxidado	D St 2	D St 2	SP 2	-
Limpieza con herramienta mecánica	Oxidado	C St 3	C St 3	SP 3	-
	Picado y oxidado	D St 3	D St 3	SP 3	-

CONDICIONES DE APLICACION

Temperatura: 15°C(59°F) mínima, 43°C(110°F) máxima (aire, superficie, y material)
Al menos 5°F (2.8°C) por arriba del punto de rocío
Humedad Relativa: 85% máxima.

EQUIPO DE APLICACION

La siguiente es una guía. Se podrían necesitar cambios en las presiones y el tamaño de las boquillas para obtener características de aspersión adecuadas. Siempre purgue el equipo de aspersión antes de usar con el reductor enlistado.
Cualquier reducción debe ser compatible con las condiciones ambientales y de aplicación existentes.

Aspersión sin Aire
Presión ..... 1800-3000 psi
Manguera ..... 1/4" ID (6.35 mm)
Boquilla ..... .015" - .017" (.381 - .432 mm)
Filtro ..... malla 60

Reductor ..... No se recomienda
Limpieza..... Reductor Industrial R2K4

Aspersión Convencional
Pistola ..... Binks 95
Boquilla de Fluido 63C
Boquilla de Aire 63PB
Presión de Atomización 50 psi
Presión de Fluído ..... 15-20 psi

Reductor/Limpieza..... Reductor Industrial R2K4, Reducir 10 – 20%

Brocha
Brocha ..... Cerda Natural

Reductor/Limpieza..... Solvente Mineral R1K4, Reducir 5 - 15%

Rodillo
Felpa ..... 3/8" (9.52 mm) avitelado con corazón fenólico
Reductor/Limpieza..... Solvente Mineral R1K4, Reducir 5 - 15%.

Si el equipo de aplicación en específico enlistado arriba no esta disponible, se puede sustituir con equipo equivalente.

Sherwin Williams de Centro América
3/4

Figura 124. Ficha técnica anticorrosivo (cont.)

KEM INDUSTRIA

ANTICORROSIVO
KROMIK UNIVERSAL HS METAL PRIMER

B50ASA1 GRIS
B50NSA1 CAFÉ ROJIZO
B50WSA4 BLANCO

Revisado 09/2017

BOLETIN DE APLICACIÓN

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

La preparación de la superficie debe ser completada como se indica:
Instrucciones de Mezclado: Mezcle la pintura completamente en un contenedor y agite antes de usar.
Aplique la pintura al espesor de película y rendimiento recomendados como se indica a continuación:

RECOMENDACIONES DE ESPESORES y RENDIMIENTOS POR CAPA		
ESPESORES	STANDARD	
	Min	Max
Húmedo mils (micrones)	4.0 (100)	6.0 (150)
Seco mils (micrones)	2.0 (50)	3.0 (75)
Rendimiento mt²/gal (pie2/gal)	25 (269) – 38 (408)	
Rendimiento Teórico a 1 mils EPS mt²/l (sqf/gal)	77 (834)	
NOTA: Las aplicaciones con brocha o rodillo podrían requerir capas múltiples para lograr el máximo espesor de película, y uniformidad en la apariencia.		

TIEMPO DE SECADO 6.0 MILS HÚMEDO (150 MICRONES) @ 50% RH:	
SECADO	77°F/25°C
Tocar	30 min
Manipular:	1 hora
Retocar a si mismo o con alquídicos	1 hora
Retocar con productos alto desempeño, epóxicos y poliuretanos	Min 16 horas – Max 24 horas
Curado	7 días
Nota: *Los tiempos de secado, dependen de la Temperatura, humedad relativa y espesores de película.*	

La Aplicación del recubrimiento por arriba del máximo o por abajo del mínimo espesor de aplicación recomendado podría afectar adversamente el desempeño del recubrimiento.

TIPS DE DESEMPEÑO

1. Recubra en franjas todas las grietas, soldaduras y ángulos agudos para prevenir una falla prematura en estas áreas.
2. Cuando utilice la aplicación por aspersión, traslape un 50% con cada pasada de la pistola para evitar puntos de alfiler, áreas desnudas, y pequeños orificios. Si es necesario, aplique en forma cruzada en ángulo recto.
3. El rendimiento se calcula en base a Sólidos en volumen y no incluye el factor de pérdida en la aplicación debido al perfil de la superficie, rugosidad o porosidad de la superficie, la habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, varias irregularidades de la superficie, pérdida de material durante la mezcla, derrame, sobre adelgazamiento, condiciones climáticas, y excesivo espesor de la película.
4. Una reducción excesiva del material puede afectar el espesor de la película, la apariencia y la adherencia.
5. No aplique el material por arriba de la vida de la mezcla recomendada.
6. No mezcle el material previamente integrado con uno nuevo. Para prevenir el bloqueo del equipo de aspersión, limpie el equipo antes de usar o antes de un período de paro prolongado con Thinner R7K128.
7. El recubrimiento mezclado es sensible al agua. Utilice trampas de agua en todas las líneas de aire. El contacto con la humedad puede reducir la vida de la mezcla y afectar el brillo y el color.

INSTRUCCIONES DE LIMPIEZA

Limpie los derrames y las salpicaduras inmediatamente con Thinner R7K128. Limpie las herramientas inmediatamente después de usar con Thinner R7K128. Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando utilice cualquier solvente.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usar. La Información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones..

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, en obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

GARANTIA

Sherwin Williams de C.A. garantiza la satisfacción de sus clientes con la calidad del producto que cumple con las especificaciones y usos para los que ha sido fabricado. Esta garantía queda supeditada a que el producto se aplique correctamente sobre una superficie correctamente preparada de acuerdo a instrucciones del fabricante. En caso que se encuentre el producto defectuoso en el envase SWCA puede optar por remplazar una cantidad equivalente del mismo producto o rembolsar el precio original hasta 6 meses después de la fecha de compra. En todo caso de reclamos es indispensable mostrar la factura original y presentar el reclamo por escrito a SWCA. SWCA se reserva el derecho de aceptar o rechazar cada reclamo después de analizar cada caso individualmente. La presente garantía no será aplicable cuando los fallos sean el efecto de someter el producto a condiciones diferentes para las que fue diseñado y sin seguir las instrucciones y especificaciones de la hoja técnica. Esta garantía no será aplicable cuando falle el sustrato sobre el cual se aplicó la pintura.

Sherwin Williams de Centro América
4/4

Figura 125. Ficha técnica Macropoxy

Protective & Marine Coatings

Classified UL Drinking Water System Component ANSI/NSF 61 3JGH Water Quality

MACROPOXY® 646 PW

POTABLE WATER EPOXY

PARTE A	B58WX610	Blanco
PARTE A	B58LX600	Light Blue
PARTE B	B58VX600	Catalizador
PARTE B	B58VX605	OAP Catalizador

Rev. 08/11

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

4.56

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

MACROPOXY 646 PW es un recubrimiento epóxico poliamida de altos sólidos, alto espesor, de secado rápido, aprobado y clasificado por UL según ANSI/NSF 61 para ser usado como revestimiento para tanques que almacenan agua potable y no potable. Su alto contenido de sólidos garantiza una protección adecuada en bordes afilados, esquinas y soldaduras. El endurecedor B58VX605 al usarse con el Light Blue, contiene una tecnología de pigmentos ópticamente activos (OAP) para una rápida detección y localización de puntos de alfiler "pinholes", (Holiday Test), con equipo de lámpara de luz (Holiday Detector).

- Bajo VOC y OLOR.
- Propiedades de Aplicación Excepcional.

USOS RECOMENDADOS

Restricciones para Tanques de Agua Potable:
Almacenamiento del Agua: 23°C.
Curado Standard; Tanques >= 1,500 gal: 2 capas.
Curado Standard; Tuberías >= 49.2 ".
Curado Forzado; Tanques >= 100 gal: 2 capas.
Curado Forzado; Tuberías >= 15", 3 capas.
Curado Forzado, máximo Espesor de Película seca (eps): 6 mils/cpa; 2 capa.

- Cumple con la Norma AWWA D102-03 ICS #1,#2 y #5; OCS #5***
- Cumple o excede los requerimientos desarrollados de SSPC Paint Spec 22.

*** Referirse a los sistemas respectivos.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

Acabado: Semi Brillante
Color: Blanco y Azul Celeste

Sólidos en Volumen: 72% ± 2%, mezclado
Sólidos en Peso: 85% ± 2%, mezclado

VOC (Método EPA 24): Sin reducir: <250 g/l; 2.08 lb/gal.
(Mezclado) Reducido 10%: <300 g/L; 2.5 lb/gal

Razón de Mezcla: 1:1 por volumen.

RECOMENDACIONES DE ESPESORES Y RENDIMIENTOS POR CAPA								
	STANDARD				AWWA			
Espesores	Min		Max		Min		Max	
Húmedo mils (Micrones)	**7.0**	(175)	**13.5**	(340)	**4.2**	(105)	**8.3**	(208)
Seco mils (micrones)	**5.0**	(125)	**10***	(250)*	**3.0**	(75)	**6.0***	(150)*
Rendimiento mt^2/gal ($pies^2$/gal)	**11 - 22** (116 - 232)				**18 - 36** (192 - 384)			
Rendimiento Teórico a 1 mils eps mt^2/gal ($pies^2$/gal)	**107** (1152)							

NOTA: Las aplicaciones con brocha o rodillo podrían requerir capas múltiples para lograr el máximo espesor de película, y uniformidad en la apariencia.
*Ver Recomendaciones de Sistemas en la siguiente pag.

TIEMPO DE SECADO 7.0 MILS HÚMEDO (175 micrones) @ 50% RH:			
Secado	**40°F/4.5°C**	**77°F/25°C**	**100°F/38°C**
Para Tocar:	4 – 5 hrs.	2 hrs.	1.5 hrs.
Para Manipular:	48 hrs.	8 hrs.	4.5 hrs.
Para Retocar:			
Mínimo	48 hrs.	8 hrs.	4.5 hrs.
Máximo	1 año	1 año	1 año
Curado p/ Inmersión	14 días	7 días	4 días
Si se excede el tiempo de recubrimiento máximo, lije la superficie antes de recubrir. El tiempo de secado depende de la temperatura, la humedad y el espesor de la película.			
Vida de la Mezcla:	10 hrs.	4 hrs.	2 hrs.
Tiempo de inducción	30 min.	30 min.	10 min.
Para servicio en Inmersión en Agua potable, permitir un curado mínimo de 7 días a **25°C**. Lavar y Esterilizar según AWWA C652.			

Vida en almacén: 36 meses, sin abrir a 4.5 °C y 38°C.
Punto de Ignición: 91°F(33°C), TCC, mezclado
Reductor/Limpieza: Epoxy Reducer R7K54 Clima tropical/ R7K15 Clima frio

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Substrato*: Acero
Preparación de la Superficie: SSPC-SP10/NACE 2
Sistema Probado*:
1 capa Macropoxy 646 PW @ 6.0 mils(150 micrones) eps.
* a menos que se indique lo contrario.

Test Name	Método	Resultado
RESISTENCIA a la ABRASION	ASTM D4060, rueda CS17, 1000 ciclos, 1 kg de carga	84 mg perdida
ADHERENCIA	ASTM D4541	1,037 psi
CORROSION POR INTEMPERIE[1]	ASTM D5894, 36 CICLOS, 12,000 HRS.	Raiting 10 por ASTM D714 para ampollamiento, Raiting 9 por ASTM D610 por oxidación.
RESISTENCIA al IMPACTO DIRECTO	ASTM D2794	30 in-lbs
RESISTENCIA al CALOR SECO	ASTM D2485	**250°F(121°C)**
FLEXIBILIDAD	ASTM D522, doblez de 180°, 3/4" mandril	**Pasa**
RESISTENCIA a la HUMEDAD	ASTM D4585, 100°F(38°C), 6000 horas	**Sin ampollas, Craqueo, o Corrosión.**
INMERSION[2]	5 años Agua Potable	Raiting 10 por ASTM D714 para ampollamiento, Raiting 10 por ASTM D610 por oxidación.
INMERSION	18 meses, para agua dulce y salada	**Pasa, no se oxida ni se ampolla o perdida de adhesion.**
DUREZA al LAPIZ	ASTM D3363	**3H**
RESISTENCIA a PERMEACION DE VAPOR DE AGUA	ASTM D1653, método B	**1.16 granos/dia**

Los recubrimientos Epóxicos se pueden oscurecer o amarillentar después de su aplicación o curado.

[1] Zinc Clad II Plus Primer.
[2]. Galvapac / 2 capas Macropoxy 646 PW

Sherwin Williams de Centro América S.A. de C.V.
Bajo Licencia de The Sherwin Williams Company Cleveland, Ohio, Propietaria de las marcas registradas

Figura 126. Ficha técnica Macropoxy (cont.)

Protective & Marine Coatings

Classified UL Drinking Water System Component ANSI/NSF 61 3JGH Water Quality

MACROPOXY® 646 PW

POTABLE WATER EPOXY

PARTE A	B58WX610	Blanco
PARTE A	B58LX600	Light Blue
PARTE B	B58VX600	Catalizador
PARTE B	B58VX605	OAP Catalizador

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

4.56

SISTEMAS RECOMENDADOS

	Espesores Secos de Película/Capa Mils	(Micrones)
INMERSION, Acero		
***AWWA D102-03: Sistemas pintura interno No.1**		
Mínimo AWWA	8.0	(200)
1 capa Macropoxy 646 PW	3.0	(75)
1 capa Macropoxy 646 PW	5.0	(125)
***AWWA D102-03: Sistemas pintura interno No.2**		
Mínimo AWWA	12.0	(300)
1 capa Macropoxy 646 PW	3.0	(75)
1 capa Macropoxy 646 PW	4.0	(100)
1 capa Macropoxy 646 PW	5.0	(125)
***AWWA D102-03: Sistemas pintura interno No.3**		
Mínimo AWWA	10.0	(250)
1 capa Zinc Clad II LV o PLUS	2.0	(50)
1 capa Macropoxy 646 PW	3.0	(75)
1 capa Macropoxy 646 PW	5.0	(125)
***AWWA D102-03: Sistemas pintura interno No.5**		
Mínimo AWWA	10.0	(250)
1 capa Corothane I Galvapac	2.0	(50)
2 capas Macropoxy 646 PW	4.0	(100)
Acero, Curado Forzado (Para tanques con capacidad mínima de 100 gal o diámetros mayores15" de diámetro en tuberías.		
2 capas Macropoxy 646 PW	5.0-6.0	(125-150)
• Espesor de película maximo de 12 mils, requiere curado:		
○ Flash 2 hrs @ 75°F/24°C.		
○ 24 hrs @ 150°F/66°C		
○ 24 hrs @ 75°F/24°C		
EXPOSICION ATMOSFERICA, Acero		
***AWWA D102-03: Sistemas pintura Externo No.5**		
Mínimo AWWA	6.0	(150)
1 capa Macropoxy 646 PW	2.0	(50)
1 capa Macropoxy 646 PW	2.0	(50)
1 capa Acrolon 218 HS	2.0	(50)
***AWWA D102-03: Sistemas pintura Externo No.6**		
Mínimo AWWA	6.0	(150)
1 capa Corothane I Galvapac	2.0	(50)
1 capa Macropoxy 646 PW	2.0	(50)
1 capa Acrolon 218 HS	2.0	(50)
Concreto:		
2 capas Macropoxy 646 PW	3.0-6.0	(75-150)

Refiérase a UL.com para restricciones de eps máximos.

Los sistemas enlistados arriba son representativos del uso del producto. Otros sistemas podrían ser apropiados

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe de estar limpia, seca y en condiciones sanas. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto y demás material extraño, para asegurar una adherencia adecuada.

Refiérase al boletín de aplicación del producto para una información detallada de la preparación de la superficie.

Mínima preparación recomendada de la superficie:

Hierro y Acero

Atmosférico: SSPC-SP2/3I

Inmersión: SSPC-SP10 / NACE 2, 2.0-3.0 mil (50-75 micrones) de perfil.

Concreto y Mamposteria:

Inmersión: *SSPC-SP13*/Nace 6-4.3.1 ó 4.3.2 o ICRI 03732, CSP 1-3.

Preparación de Superficie Estándar

	Condición de la Superficie	ISO 8501-1 BS7079:A1	STD Sueco SIS055900	SSPC	NACE
Metal blanco		Sa 3	Sa 3	SP 5	1
Metal casi blanco		Sa 2.5	Sa 2.5	SP 10	2
Chorro de arena a metal gris comercial		Sa 2	Sa 2	SP 6	3
Chorro abrasivo grado Brush-off		Sa 1	Sa 1	SP 7	4
Limpieza con herramienta manual	Oxidado	C St 2	C St 2	SP 2	-
	Picado y oxidado	D St 2	D St 2	SP 2	-
Limpieza con herramienta mecánica	Oxidado	C St 3	C St 3	SP 3	-
	Picado y oxidado	D St 3	D St 3	SP 3	-

ENTINTADO

NO ENTINTE

CONDICIONES DE APLICACION

Temperatura: 40°F(4.5°C) mínima, 110°F(43°C) máxima (aire, superficie, y material)
Al menos 5°F (2.8°C) por arriba del punto de rocío

Humedad Relativa: 85% máxima.

Refiérase al Boletín de Aplicación del Producto para información detallada de aplicación.

PRESENTACION

Empaque:
Parte A: Envases de 1 gal (3.78 lts) y 5 galones (18.9 lts).
Parte B: Envases de 1 gal (3.78 lts) y 5 galones (18.9 lts).

Peso por galón: 12.7 ± 0.2 lb/gal o 1.5 kg /Lt , mezclado para cualquier color.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usar. La Información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones.

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, en obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

GARANTIA

Sherwin-Williams hace la siguiente GARANTIA LIMITADA de que nuestros productos han sido suministrados libres de defectos de fabricación de acuerdo con los procedimientos de control de calidad de SW. La Responsabilidad por productos defectuosos demostrado en su caso, se limita a la sustitución del producto defectuoso o el reembolso del precio de compra pagado por el producto defectuoso determinado por Sherwin Williams. NINGUNA OTRA GARANTÍA O DE CUALQUIER OTRA INDOLE ESTARA HECHA POR SHERWIN-WILLIAMS, LEGALMENTE EXPRESADA O IMPLICITA, POR EL FUNCIONAMIENTO DE LA LEY O DE OTRO TIPO, INCLUYENDO COMERCIABILIDAD o IDONEIDAD PARA UN OBJETIVO PARTICULAR.

Sherwin Williams de Centro América S.A. de C.V.
Bajo Licencia de The Sherwin Williams Company Cleveland, Ohio, Propietaria de las marcas registradas

Figura 127. Ficha técnica Macropoxy (cont.)

Protective & Marine Coatings

Classified — Drinking Water System Component ANSI/NSF 61 3JGH — Water Quality

MACROPOXY® 646 PW

POTABLE WATER EPOXY

PARTE A	B58WX610	Blanco
PARTE A	B58LX600	Light Blue
PARTE B	B58VX600	Catalizador
PARTE B	B58VX605	OAP Catalizador

Rev. 08/11

BOLETIN DE APLICACIÓN

4.56

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y en buenas condiciones. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto y demás materia extraña para asegurar una adherencia adecuada.

Hierro y Acero (Servicio de Inmersión):

Limpie y desengrase la superficie antes de toda limpieza con chorro abrasivo según SSPC-SP1 "Limpieza con Solvente". Este método incluye limpieza con solventes, álcalis, detergentes/agua, emulsiones y vapor. La superficie deberá ser preparada con chorro abrasivo a metal casi blanco de acuerdo con SSPC-SP10/NACE 2, con un perfil de 2-3 mils. El patrón de anclaje deberá tener la textura de la no evidencia de una superficie pulida. La superficie final deberá estar libre de todo el aceite visible, grasa, polvo, suciedad, productos de corrosión, cascarilla de laminación, herrumbre, oxido, y otros materiales extraños, con no más del 5% de coloración. Después de la limpieza con chorro, todo el polvo y residuos de la manipulación deberán ser removidos por métodos aceptables. Aplique primario en cualquier acero desnudo el mismo dia que se haya limpiado o antes de que la oxidación inmediata ocurra.

Hierro y Acero (Servicio Atmosférico):

La preparación mínima de la superficie es por medio de Limpieza con herramienta manual según SSPC-SP2. Remover todo el aceite y grasa de la superficie con "Limpieza con Solvente" de acuerdo con SSPC-SP1. Para un mejor desempeño, utilice la "Limpieza a Chorro Comercial" de acuerdo con SSPC-SP6/NACE 3. Limpie a chorro todas las superficies utilizando un abrasivo agudo, angular para un perfil óptimo de la superficie (2 mils/50 micras). Aplique primario en cualquier acero desnudo el mismo dia que se haya limpiado o antes de 8 hrs o que la oxidación inmediata ocurra.

Hierro Dúctil (servicio Inmersión):

Consulte la Asociación Nacional de los Fabricantes de Tuberías, preparación de superficies Norma NAPF 500-03 de la Siguiente manera:

a. NAPF 500-03-01 "Disolventes de Limpieza".
b. NAPF 500-03-02. "Herramientas de Limpieza Manual".
c. MAPF 500-03-03. "Herramientas Mecánicas".
d. NAPF 500-03-04. Limpieza mediante Chorro Abrasivo de Tuberías de Hierro Dúctil".

Concreto y mamposteria:

Para la preparación de superficie referirse a SSPC-SP13/NACE 6 o ICRI 03732, CSP 1-3. Las superficies deben estar limpias, secas, sanas y ofrecer un perfil suficiente para lograr una adherencia adecuada. El curado mínimo del concreto es de 28 dias a 75°F (24°C). Remover o eliminar todo concreto suelto, compuestos de curado, endurecedores, sales, eflorescencia, lechada y polvo de cemento, tierra y demás materia extraña Rellene todas las fisuras, huecos y orificios con Steel-Seam F910 PRIMER.

Siempre siga los métodos ASTM enlistados a continuación:

Práctica Estándar para Limpiar Concreto ASTM D4258.
Práctica Estándar para Abrasión de Concreto ASTM D4259.
Práctica Estándar para Mordentar Concreto ASTM D4260.
Método de Hoja de Plástico para revisar la Humedad en el Concreto ASTM F1869.
Medida de la Transmisión de vapor de Agua.
SSPC-SP 13/NACE 6 o ICRI 03732 Preparación de la superficie de Concreto.

Concreto, Servicio de Inmersión:

Para la preparación de superficie, referirse a SSPC-SP13/NACE 6, sección 4.3.1 o 1.3.2 o ICRI 03732, CSP 2-3.

Superficies Previamente Pintadas:

Si se encuentran en buen estado, La superficie deberá estar libre de todo material extraño, Se deberá escarificar (abrasivo) la superficie para obtener el perfil de adhesión adecuado. En un área de Prueba, aplicar el sistema de pintura recomendado y permitir el curado de la pintura por 1 semana antes de proceder a realizar la prueba de adherencia. Si la adhesión es pobre o este producto ataca el acabado viejo en el momento de su aplicación, necesariamente deberá removerse todo el acabado viejo para asegurar una adherencia adecuada.

Preparación de Superficie Estándar

	Condición de la Superficie	ISO 8501-1 BS7079:A1	STD Sueco SISO55900	SSPC	NACE
Metal blanco		Sa 3	Sa 3	SP 5	1
Metal casi blanco		Sa 2.5	Sa 2.5	SP 10	2
Chorro de arena a metal gris comercial		Sa 2	Sa 2	SP 6	3
Chorro abrasivo grado Brush-off		Sa 1	Sa 1	SP 7	4
Limpieza con herramienta manual	Oxidado	C St 2	C St 2	SP 2	-
	Picado y oxidado	D St 2	D St 2	SP 2	-
Limpieza con herramienta mecánica	Oxidado	C St 3	C St 3	SP 3	-
	Picado y oxidado	D St 3	D St 3	SP 3	-

CONDICIONES DE APLICACION

Temperatura: 40°F(4.5°C) mínima, 110°F(43°C) máxima (aire, superficie, y material)
Al menos 5°F (2.8°C) por arriba del punto de rocío
Humedad Relativa: 85% maxima.

EQUIPO DE APLICACION

La siguiente es una guía. Se podrían necesitar cambios en las presiones y tamaño de las boquillas para lograr caracteristicas de aspersión adecuadas. Siempre purgue el equipo de aspersión antes de usar con el reductor que se menciona. Cualquier reducción debe ser compatible con las condiciones ambientales y de aplicación existentes.

Reductor/Limpieza .....Reducer, R7K15

Aspersión sin Aire

Bomba 30:1
Presión ..... 2800 - 3000 psi
Manguera ..... 1/4" ID
Boquilla ..... .017" - .023"
Filtro ..... malla 60
Reducción ..... la que se necesite hasta un 10% por volumen.

Brocha

Brocha ..... Nylon/Poliéster o Cerda natural
Reducción ..... la que se necesite hasta un 10% por volumen.

Rodillo

Felpa ..... 3/8" , de felpa resistente al solvente.
Reducción ..... la que se necesite hasta un 10% por volumen.

RECOMENDACIONES DE ESPESORES Y RENDIMIENTOS POR CAPA

	STANDARD				AWWA			
Espesores	Min		Max		Min		Max	
Húmedo mils (Micrones)	**7.0**	(175)	**13.5**	(340)	**4.2**	(105)	**8.3**	(208)
Seco mils (micrones)	**5.0**	(125)	**10***	(250)*	**3.0**	(75)	**6.0***	(150)*
Rendimiento Mt^2/gal (pies^2/gal)	**11 - 22** (116 - 232)				**18 - 36** (192 - 384)			

* Ver sistemas recomendados en pag anterior.

Si el equipo de aplicación en especifico enlistado arriba no esta disponible, se puede sustituir con equipo equivalente.

Sherwin Williams de Centro América S.A. de C.V.
Bajo Licencia de The Sherwin Williams Company Cleveland, Ohio, Propietaria de las marcas registradas

Figura 128. Ficha técnica Macropoxy (cont.)

Protective & Marine Coatings

Classified UL Drinking Water System Component ANSI/NSF 61 3JGH Water Quality

MACROPOXY® 646 PW

POTABLE WATER EPOXY

PARTE A	B58WX610	Blanco
PARTE A	B58LX600	Light Blue
PARTE B	B58VX600	Catalizador
PARTE B	B58VX605	OAP Catalizador

BOLETIN DE APLICACIÓN

4.56

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

Se debe completar la preparación de la superficie como se indica:

Mezcle los contenidos de cada componente con un agitador eléctrico. Asegúrese que no quede ningún pigmento en el fondo de la lata. Luego combine **1 partes por volumen de la Parte A con 1 parte por volumen de la Parte B**. Agite completamente la mezcla con un agitador eléctrico. Permita que el material tenga la inducción como se indica a continuación antes de la aplicación. Vuelva a agitar antes de usar.

Si se utiliza un solvente reductor, agregue solamente después de que ambos componentes hayan sido totalmente mezclados y después de la inducción. Aplique la pintura al espesor de película y rendimiento recomendados como se indica a continuación:

RECOMENDACIONES DE ESPESORES Y RENDIMIENTOS POR CAPA								
	STANDARD				AWWA			
Espesores	Min		Max		Min		Max	
Húmedo mils (Micrones)	**7.0**	(175)	**13.5**	(340)	**4.2**	(105)	**8.3**	(208)
Seco mils (micrones)	**5.0**	(125)	**10***	(250)*	**3.0**	(75)	**6.0***	(150)*
Rendimiento mt^2/gal ($pies^2/gal$)	**11 - 22** (116 - 232)				**18 - 36** (192 - 384)			
Rendimiento Teórico a 1 mils eps mt^2/gal ($pies^2/gal$)	**107** (1152)							
NOTA: Las aplicaciones con brocha o rodillo podrían requerir capas múltiples para lograr el máximo espesor de película, y uniformidad en la apariencia. *Ver Recomendaciones de Sistemas.								

TIEMPO DE SECADO 7.0 MILS HÚMEDO (175 micrones) @ 50% RH:			
Secado	**40°F/4.5°C**	**77°F/25°C**	**100°F/38°C**
Para Tocar:	4 – 5 hrs.	2 hrs.	1.5 hrs.
Para Manipular:	48 hrs.	8 hrs.	4.5 hrs.
Para Retocar:			
Mínimo	48 hrs.	8 hrs.	4.5 hrs.
Máximo	1 año	1 año	1 año
Curado p/ Inmersión	14 días	7 días	4 días
Si se excede el tiempo de recubrimiento máximo, lije la superficie antes de recubrir. El tiempo de secado depende de la temperatura, la humedad y el espesor de la película.			
Vida de la Mezcla:	10 hrs.	4 hrs.	2 hrs.
Tiempo de inducción	30 min.	30 min.	10 min.
Para servicio en Inmersión en Agua potable, permitir un curado mínimo de 7 días a **25°C**. Lavar y Esterilizar según AWWA C652.			

La aplicación del recubrimiento por arriba del máximo o por debajo del mínimo espesor de aplicación recomendado podría afectar adversamente el desempeño del recubrimiento.

INSTRUCCIONES DE LIMPIEZA

Limpie los derrames y salpicaduras inmediatamente con Reducer, R7K15. Limpie las herramientas inmediatamente después de usar con Reducer R7K15. Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante al utilizar cualquier solvente

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, en obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

TIPS DE DESEMPEÑO

- Recubra en franjas todas las grietas, soldaduras y ángulos agudos para prevenir una falla prematura en estas áreas.
- Cuando utilice la aplicación por aspersión, traslape un 50% con cada pasada de la pistola para evitar puntos de alfiler, áreas desnudas, y pequeños orificios. Si es necesario, aplique en forma cruzada en ángulo recto.
- El rendimiento se calcula en base al volumen de sólidos y no incluye el factor de pérdida en la aplicación debido al perfil de la superficie, rugosidad o porosidad de la superficie, la habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, varias irregularidades de la superficie, pérdida de material durante la mezcla, derrame, sobre adelgazamiento, condiciones climáticas, y excesivo espesor de la película.
- La reducción excesiva del material puede afectar el espesor, la apariencia y la adherencia de la película y la aprobación de UL ANSI/NSF 61.
- No premezcle material catalizado previamente con nuevo.
- No aplique el material pasada la vida de la mezcla recomendada.
- Para prevenir el bloqueo del equipo de aspersión, limpie el equipo antes de usar o antes de períodos de paro prolongados con Reducer, R7K15.
- No entintar para uso en inmersión.
- Quik-Kick Acelerador puede ser usado para servicio atmosférico.
- No use Quik-Kick Acelerador para servicio de Inmersión cuando se requiere certificación UL.
- Insuficiente ventilación, mezclado incompleto o errónea catalización y calentadores externos pueden causar un amarillamiento prematuro.
- Excesivo grosor, pobre ventilación y bajas temperaturas puede causar entrampamiento de solventes y prematura falla de la película.

Para servicio de Inmersión:
Referirse a Prueba de Detección Húmeda de puntos de Afiler (Holiday Test) según ASTM D5162 para acero y ASTM D4787 para concreto.
Detección Húmeda de Puntos de Alfiler: Utilice un detector del tipo esponja húmedo tal como el equipo KD Bird Dog o equivalente de acuerdo con la recomendación del fabricante. Pruebe solamente el recubrimiento curado, como solvente entrampado en películas frescas podría dar lecturas falsas.

Refiérase a la hoja de información del Producto para características y propiedades de desempeño adicionales.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usarse.
La información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones.

GARANTIA

Sherwin-Williams hace la siguiente GARANTIA LIMITADA de que nuestros productos han sido suministrados libres de defectos de fabricación de acuerdo con los procedimientos de control de calidad de SW. La Responsabilidad por productos defectuosos demostrado en su caso, se limita a la sustitución del producto defectuoso o el reembolso del precio de compra pagado por el producto defectuoso determinado por Sherwin Williams. NINGUNA OTRA GARANTÍA O DE CUALQUIER OTRA INDOLE ESTARA HECHA POR SHERWIN-WILLIAMS, LEGALMENTE EXPRESADA O IMPLICITA, POR EL FUNCIONAMIENTO DE LA LEY O DE OTRO TIPO, INCLUYENDO COMERCIABILIDAD o IDONEIDAD PARA UN OBJETIVO PARTICULAR.

Sherwin Williams de Centro América S.A. de C.V.
Bajo Licencia de The Sherwin Williams Company Cleveland, Ohio, Propietaria de las marcas registradas

Figura 129. Ficha técnica esmalte de poliuretano

KEM INDUSTRIA

ESMALTE POLIURETANO

KEM ENAMEL

PARTE A LÍNEA B65_K
PARTE B B65VSA1

LIBRE Plomo y Mercurio

Revisado 04/2016

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

ESMALTE POLIURETANO KEM ENAMEL, es un esmalte acrílico-uretano alifático de 2 componentes (2K), de alto desempeño y rápido secado diseñado para uso en ambientes industriales y marino. Su versatilidad le permite aplicarse sobre diferentes tipos de primarios anticorrosivos, el cual lo hace idóneo como acabado en sistemas protectores para múltiples usos, donde se requiera:

- Excelente retención de color y brillo para exposiciones al exterior.
- Alta Resistencia a la Corrosión, Humedad e intemperie.
- Excelente resistencia a la abrasión: Mecánica y Química.
- Ideal para restaurar equipos y/o maquinarias que requieran acabados originales de fábrica.

USOS RECOMENDADOS

Para uso en aplicaciones expuestas a ambientes industriales como:

- Exterior de Tanques, Tuberías.
- Equipo y Maquinaria Industrial.
- Puentes.
- Estructuras metálicas.
- Transportadores, barandales, pasamanos.
- En señalización y demarcación de pisos de trafico pesado, donde la seguridad industrial es un factor determinante

En aplicaciones marinas como:

- Estructuras, Plataformas.
- Embarcaciones arriba de la línea de Flotación (Obra muerta).

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

Acabado: Brillante
Color: Amplia gama de colores, incluyendo los colores de seguridad industrial.

Sólidos en Volumen: 41 % ± 2 %
Sólidos en Peso: 52% ± 2 %
Razón de Mezcla: 4 partes de A : 1 parte de B por Volumen
VOC 4.41 lb/gal (528.97 g/L)

RECOMENDACIONES DE ESPESORES y RENDIMIENTOS POR CAPA		
ESPESORES	**STANDARD**	
	Min	**Max**
Húmedo mils (micrones)	5.0 (125)	7.5 (188)
Seco mils (micrones)	2.0 (50)	3.0 (75)
Rendimiento Teórico a 1 mils EPS mt²/gal (pie²/gal)	61 (657)	
Rendimiento mt²/gal (pie²/gal)	20 (219) –	31 (328)

NOTA: Las aplicaciones con brocha o rodillo podrían requerir capas múltiples para lograr el máximo espesor de película, y uniformidad en la apariencia.
*Ver Recomendaciones de Sistemas en pag 2.

TIEMPO DE SECADO 6.0 MILS HÚMEDO (150 MICRONES) @ 50% RH:	
SECADO	**77°F/25°C**
Tocar	30 min.
Manipular:	2 horas
Retocar:	12 horas
Completo:	12 horas
Nota: Los tiempos de secado, dependen de la Temperatura, humedad relativa y espesores de película.	

Tiempo entre mano y mano (flash off) es de 5 a 15 min, si se excede este tiempo, esperar 12 hrs y lije la superficie antes de recubrir. El tiempo de secado depende de la temperatura, la humedad y del espesor de la película.

Vida útil de la Mezcla: 3 - 4 horas (dependerá de la temperatura ambiental)
Tiempo de inducción: No requiere

Vida Útil: 36 meses, sin abrir. Almacenar en ambientes entre 25 °C (77°F) y 38°C (100°F).

Reductor/Limpieza:

- **R8KSA3** Climas Tropical 15°C / 59°F - 30°C / 86°F
- **R8KSA4** Climas Cálidos 30°C / 86 °F - 38°C / 100°F

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Sistema Probado: (a menos que se indique otra cosa)

Substrato: Acero
Preparación de Superficie: SSPC-SP10
Recubrimiento:
1 Capa de Kem Enamel Poliuretano Industrial @ 1.5 mils eps.

Test Name	Método	Resultado
Dureza al Lápiz	ASTM D3363	H

- Rápido Secado, 30 min
- Retención de color y brillo para exposiciones al exterior.
- Excelente resistencia a la corrosión, humedad e intemperie.
- Excelente resistencia a la abrasión, mecánica y química como: solventes, ácidos y álcalis diluidos.
- Excelente adherencia a diferentes superficies debidamente preparadas como acero, hierro, aluminio, galvanizado, concreto, fibra de vidrio y PVC.
- Resistencia al Calor Seco: 121°C (250°F)
- Alta dureza y flexibilidad.
- Su rápida retocabilidad permite tiempos cortos de operación durante su aplicación.

NO USO EN INMERSION, NI ESTRUCTURAS ENTERRADAS.

AMBIENTES	RECOMENDADO A
MARINO - QUIMICO	
INDUSTRIAL-QUIMICO	√
MARINO	√
INDUSTRIAL	√
COMERCIAL	√

Sherwin Williams de Centro América 1/4

Figura 130. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.)

ESMALTE POLIURETANO

KEM ENAMEL

PARTE A LÍNEA B65_K
PARTE B B65VSA1

KEM INDUSTRIA

SHERWIN WILLIAMS. COVER THE EARTH!

LIBRE Plomo y Mercurio

Revisado 04/2016

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

SISTEMAS RECOMENDADOS

	Espesores Secos de Película/Capa Mils	(Micrones)
ACERO – HIERRO: ATMÓSFÉRICO		
SISTEMA ALQUIDICO PRIMARIO UNIVERSAL:		
1 Capa Kromik Universal Metal Primer	3.0 – 4.0	(75 - 100)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
1 Capa Anticorrosivo Kromik Universal HS	2.0 – 3.0	(50 - 75)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
SISTEMA PRIMARIO EPÓXICO:		
1 Capa Primario Epóxico Kem Cati Coat	2.0 – 3.0	(50 - 75)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
SISTEMA PRIMARIO RICOS EN ZINC:		
1 Capa Zinc Clad II Inorgánico en Zinc ó	2.0 – 4.0	(50 - 100)
1 Capa Zinc Clad 7 Orgánico de Zinc	2.0 – 4.0	(50 – 100)
1 Capa Macropoxy 646 FC	5.0 – 10.0	(125 - 250)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
ACERO – HIERRO - GALVANIZADO – ALUMINIO – FIBRA DE VIDRIO:		
SISTEMA PRIMARIO EPÓXICO:		
1 Capa Macropoxy 646 FC	5.0 – 10.0	(125 - 250)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
SISTEMA PRIMARIO EPÓXICO MP-DIELÉCTRICO:		
1 Capa Seaguard MP	3.0 – 4.0	(125 - 250)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
SISTEMA FOSFATIZANTE PROMOTOR DE ADHERENCIA:		
1 Capa Wash Primer	0.5 – 0.7	(13- 18)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	2.0 – 3.0	(50 - 75)
CONCRETO (SEÑALIZACIÓN Y DEMARACIÓN:		
1 Capa Macropoxy 920 Pre-Primer	1.5 – 2.0	(37- 50)
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	3.0 – 4.0	(75 - 100)
PVC:		
1 – 2 Capas Esmalte Poliuretano Kem Enamel	3.0 – 4.0	(75 - 100)

Los sistemas enlistados arriba son representativos del uso del producto. Otros sistemas podrían ser apropiados

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y en buenas condiciones. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto y demás materia extraña para asegurar una adherencia adecuada.

Preparación Recomendada de la Superficie (dependiendo del Sistema Recomendado):

- Hierro y Acero: Mínimo: SSPC - SP2 / SP3
- Aluminio: SSPC-SP1
- Galvanizado: SSPC-SP1
- Concreto y/o Mampostería SSPC - SP13
- PVC / Fibra de Vidrio: SSPC – SP2

	Condición de la Superficie	ISO 8501-1 BS7079:A1	STD Succo SISO55900	SSPC	NACE
Metal Blanco		Sa 3	Sa 3	SP 5	1
Metal casi Blanco		Sa 2.5	Sa 2.5	SP 10	2
Chorro a Gris comercial		Sa 2	Sa 2	SP 6	3
Chorro Grado Brush-off		Sa 1	Sa 1	SP 7	4
Limpieza con herramienta manual	Oxidado	C St 2	C St 2	SP 2	-
	Picado y oxidado	D St 2	D St 2	SP 2	-
Limpieza con herramienta mecánica	Oxidado	C St 3	C St 3	SP 3	-
	Picado y oxidado	D St 3	D St 3	SP 3	-

ENTINTADO

NO ENTINTE.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura: 15°C (59°F) min / 38°C (100°F) max.
Aire, superficie y material: al menos 3°C (5°F) por arriba del punto de rocío.
Humedad Relativa: 85% máx.

Refiérase al Boletín de aplicación del producto para información mas detallada.

PRESENTACION

Producto se comercializa en Kit´s de 1.25 Gal.
Empaque: Parte A: 1 galón (3.78 L),
Parte B: ¼ gal (0.94 L)
Peso por galón: Parte A: 9.22 ± 1 lb/gal. Peso varía por color
Parte B: 8.51 lb/gal

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usar. La Información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones.

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, para obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

GARANTIA

Sherwin Williams de C.A. garantiza la satisfacción de sus clientes con la calidad del producto que cumple con las especificaciones y usos para los que ha sido fabricado. Esta garantía queda supeditada a que el producto se aplique correctamente sobre una superficie correctamente preparada de acuerdo a instrucciones del fabricante. En caso que se encuentre el producto defectuoso en el envase SWCA puede optar por remplazar una cantidad equivalente del mismo producto o rembolsar el precio original hasta 6 meses después de la fecha de compra. En todo caso de reclamos es indispensable mostrar la factura original y presentar el reclamo por escrito a SWCA. SWCA se reserva el derecho de aceptar o rechazar cada reclamo después de analizar cada caso individualmente. La presente garantía no será aplicable cuando los fallos sean el efecto de someter el producto a condiciones diferentes para las que fue diseñado y sin seguir las instrucciones y especificaciones de la hoja técnica. Esta garantía no será aplicable cuando falle el sustrato sobre el cual se aplicó la pintura.

Sherwin Williams de Centro América 2/4

Figura 131. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.)

SHERWIN WILLIAMS

KEM INDUSTRIA

LIBRE Plomo y Mercurio

ESMALTE POLIURETANO

KEM ENAMEL

PARTE A LÍNEA B65_K
PARTE B B65VSA1

Revisado 04/2016

BOLETIN DE APLICACIÓN

PREPARACION DE SUPERFICIE

El área a pintar debe estar limpia y seca, libre de aceite, grasa u óxido y demás material extraño para asegurar una adherencia adecuada.

HIERRO o ACERO
Remueva todo el aceite y grasa de la superficie, limpiando con solvente (SSPC-SP1). La preparación mínima de la superficie es la limpieza manual mecánica (SSPC-SP2/SP3).
Para mayor durabilidad deberá limpiarse la superficie de acuerdo a SSPC-SP8 (Dual Etch W4K263) para eliminar óxido. Para un mejor desempeño utilizar limpieza a chorro de arena hasta obtener un perfil de 2 mils de acuerdo con SSPC-SP5/SP6/SP7/SP10. Aplique primario el mismo día que se limpió o antes que la oxidación superficial ocurra.

GALVANIZADO NUEVO
Permita que se intemperice por un tiempo mínimo de 6 meses antes de aplicar el recubrimiento. Limpie la superficie de acuerdo con SSPC-SP1. Cuando no sea posible la intemperización, o la superficie haya sido tratada con cromatos o silicatos, primero limpie con solvente de acuerdo con SSPC-SP1 de preferencia utilizar Thinner R7K203 ó R7K128 y aplique un parche de prueba. Permita que seque la pintura al menos una semana antes de probar la adherencia.
Si la adherencia es mala, será necesario limpiar a chorro de arena de acuerdo con SSPC-SP7, para remover estos tratamientos.

GALVANIZADO VIEJO Y ALUMINIO
Remueva todo el aceite, grasa, suciedad, óxido y demás material extraño limpiando con solvente (SSPC-SP1) de preferencia utilizar Thinner R7K203 ó R7K128.
La oxidación galvanizada requiere un mínimo de limpieza con herramienta manual de acuerdo con SSPC-SP2, Aplique el promotor de adhesión el mismo día que se limpió o antes que la oxidación superficial ocurra.

CONCRETO
Las superficies de concreto deben tener un tiempo de curado de al menos 28 días. La superficie debe estar libre de eflorescencia, yesamiento, suciedad, agentes aceleradores de curado, cemento suelto y endurecedores. Llene los orificios, bolsas de aire y otras imperfecciones con productos diseñados para ello (*). Remueva todo el concreto suelto, porosidad suave y/o material extraño con limpieza de chorro a presión (SSPC-SP12/SP7) o con herramienta eléctrica para remover la contaminación mal adherida y obtener una superficie dura y firme.

SUPERFICIES PREVIAMENTE PINTADAS
Si está en buenas condiciones, limpie la superficie de toda materia extraña. Los recubrimientos y superficies lisos, duros o brillantes deben de ser opacados lijando la superficie. Aplique en una área de prueba dejando que seque la pintura durante una semana antes de probar la adherencia. Si la adherencia es pobre, o si éste producto ataca el acabado, podría ser necesario remover la capa previa. Si la pintura se desprende elimine la pintura antigua y limpie la superficie hasta el substrato y trate como una superficie nueva.

PVC y/o FIBRA DE VIDRIO:
Remueva todo el aceite y grasa de la superficie, limpiando con solvente (SSPC-SP1). La preparación mínima de la superficie es la limpieza manual (SSPC-SP2).

(*) consulte a su representante para productos recomendados.

CONDICIONES DE APLICACION

Temperatura: 15°C (59°F) min / 38°C (100°F) max.
Aire, superficie y material: al menos 3°C (5°F) por arriba del punto de rocío.
Humedad Relativa: 85% máx.

EQUIPO DE APLICACION

La siguiente es una guía. Se podrían necesitar cambios en las presiones y tamaño de las boquillas para lograr características de aspersión adecuadas. Siempre purgue el equipo de aspersión antes de usar con el reductor que se menciona. Cualquier reducción debe ser compatible con las condiciones ambientales y de aplicación existentes.

Reductor/Limpieza:
- **R8KSA3** Climas Tropical 15°C / 59°F - 30°C / 86°F
- **R8KSA4** Climas Cálidos 30°C / 86 °F - 38°C / 100°F

El uso de cualquier otro solvente que no sea el recomendado afectará el desempeño o el cumplimiento del producto para el servicio que fue diseñado.

Pistola Convencional

Pistola	HVLP / Gravedad o equivalente.
Boquilla	1.3 - 1.5 mm.
Presión de Atomiz	6 - 12 psi.
Presión de Fluido	35 - 45 psi.
Reducción	hasta un máx. de 15% por vol con Solvente Poliuretano R8KSA3 y R8KSA4.
Brocha	Cerda natural
Reducción:	NO SE RECOMIENDA, si es Necesario reducir hasta un máx. de 10% en vol con Solvente Poliuretano R8KSA3 y R8KSA4.
Rodillo	Felpa 3/8" (corazón fenólico)
Reducción:	NO SE RECOMIENDA, si es Necesario reducir hasta un máx. de 10% en vol con Solvente Poliuretano R8KSA3 y R8KSA4.

Si el equipo de aplicación en específico listado arriba no esta disponible, se puede sustituir con equipo equivalente

Figura 132. Ficha técnica esmalte de poliuretano (cont.)

SHERWIN WILLIAMS

KEM INDUSTRIA

LIBRE Plomo y Mercurio

ESMALTE POLIURETANO

KEM ENAMEL

PARTE A LÍNEA B65_K
PARTE B B65VSA1

Revisado 04/2016

BOLETIN DE APLICACIÓN

PROCEDIMIENTO DE APLICACION

La preparación de la superficie debe ser completada como se indica:
Instrucciones de Mezclado: Mezcle la pintura completamente en un contenedor y agite antes de usar. Aplique la pintura al espesor de película y rendimiento recomendados como se indica a continuación:

RECOMENDACIONES DE ESPESORES y RENDIMIENTOS POR CAPA		
ESPESORES	**STANDARD**	
	Min	**Max**
Húmedo mils (micrones)	5.0 (125)	7.5 (188)
Seco mils (micrones)	2.0 (50)	3.0 (75)
Rendimiento Teórico a 1 mils EPS mt²/gal (pie²/gal)	61 (657)	
Rendimiento mt²/gal (pie²/gal)	20 (219) –	31 (328)

TIEMPO DE SECADO 6.0 MILS HÚMEDO (150 MICRONES) @ 50% RH:	
SECADO	**77°F/25°C**
Tocar	30 min.
Manipular:	2 horas
Retocar a si mismo o con alquídicos	12 horas
Completo	12 horas
***Nota:** Los tiempos de secado, dependen de la Temperatura, humedad relativa y espesores de película.*	

La Aplicación del recubrimiento por arriba del máximo o por abajo del mínimo espesor de aplicación recomendado podría afectar adversamente el desempeño del recubrimiento.

TIPS DE DESEMPEÑO

1. Recubra en franjas todas las grietas, soldaduras y ángulos agudos para prevenir una falla prematura en estas áreas.
2. Cuando utilice la aplicación por aspersión, traslape un 50% con cada pasada de la pistola para evitar puntos de alfiler, áreas desnudas, y pequeños orificios. Si es necesario, aplique en forma cruzada en ángulo recto.
3. El rendimiento se calcula en base al volumen de sólidos y no incluye el factor de pérdida en la aplicación debido al perfil, rugosidad o porosidad de la superficie, la habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, varias irregularidades de la superficie, pérdida de material durante la mezcla, derrame, sobre adelgazamiento, condiciones climáticas, y excesivo espesor de la película.
4. La reducción excesiva del material puede afectar el espesor de la película, la apariencia y la adherencia.
5. Para obtener el máximo desempeño del producto debe aplicarse una segunda capa.
6. Este es un producto de uso profesional, y siempre que se aplique por primera vez, se recomienda realizar una aplicación testigo y de preferencia bajo la supervisión de un Técnico de Sherwin Williams.
7. No mezcle el material previamente integrado con uno nuevo. Para prevenir el bloqueo del equipo de aspersión, limpie el equipo antes de usar o antes de un período de paro prolongado con Thinner R7K128.
8. El recubrimiento mezclado es sensible al agua. Utilice trampas de agua en todas las líneas de aire. El contacto con la humedad puede reducir la vida de la mezcla y afectar el brillo y el color.

INSTRUCCIONES DE LIMPIEZA

Limpie los derrames y las salpicaduras inmediatamente con Thinner R7K128. Limpie las herramientas inmediatamente después de usar con Thinner R7K128. Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando utilice cualquier solvente.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Refiérase a la hoja MSDS (hoja de seguridad) antes de usar. La Información técnica e instrucciones publicadas están sujetas a cambio sin previo aviso. Contacte a su representante Sherwin-Williams para mayor información técnica e instrucciones..

RENUNCIA

La información y recomendaciones que figuran en la ficha de datos de este producto están basadas en pruebas realizadas por o en nombre de la empresa Sherwin-Williams. Esta información y las recomendaciones expuestas en este documento están sujetas a cambios y corresponden al producto ofrecido en el momento de la publicación. Consulte a su Representante de Sherwin-Williams, en obtener la más reciente información del producto: Aplicación y Boletín.

GARANTIA

Sherwin Williams de C.A. garantiza la satisfacción de sus clientes con la calidad del producto que cumple con las especificaciones y usos para los que ha sido fabricado. Esta garantía queda supeditada a que el producto se aplique correctamente sobre una superficie correctamente preparada de acuerdo a instrucciones del fabricante. En caso que se encuentre el producto defectuoso en el envase SWCA puede optar por remplazar una cantidad equivalente del mismo producto o rembolsar el precio original hasta 6 meses después de la fecha de compra. En todo caso de reclamos es indispensable mostrar la factura original y presentar el reclamo por escrito a SWCA. SWCA se reserva el derecho de aceptar o rechazar cada reclamo después de analizar cada caso individualmente. La presente garantía no será aplicable cuando los fallos sean el efecto de someter el producto a condiciones diferentes para las que fue diseñado y sin seguir las instrucciones y especificaciones de la hoja técnica. Esta garantía no será aplicable cuando falle el sustrato sobre el cual se aplicó la pintura.

Sherwin Williams de Centro América
4/4

Figura 133. Cotización Sherwin Williams

COTIZACIÓN DE PRECIOS

No. Cotización: 2010230000889 **Vendedor:** STEPHANIE CONCEPCION MARROQUIN
Para: ISABEL HERRERA
Sucursal: cliente contado contado
Atención: JOSE
Fecha 29/09/2018 **Dias de vigencia:** 15 **Fecha** 14/10/2018
Proyecto:
Dirección

De acuerdo a su requerimiento, le detallo los precios de venta de los siguientes productos

Cantidad	Producto	Descripción	Medida	Precio	Precio Vta - Desc	Precio Vta + Imp	Total + Imp
1	B50ASA1-1	KEM ANTICORR UNIVERSAL HS ALQ MATE GRIS	Galon	392.86	392.86	440.00	440.00
1	B65WSA1K-1	ESMALTE IND POLIURETANO BRILLANTE BLANCO KIT	Kit galon y cuarto	629.46	629.46	705.00	705.00
					Total		**1,145.00**

Moneda : Quetzal
Tipo 1

Total sin Desc:	1,022.32
Total sin Imp:	**1,022.32**
Imp:	122.68
Total + Imp:	**1,145.00**

Autorizaciones

DISTRIBUIDORA DE MATERIALES LA PINTURA, S.A.
AVENIDA PETAPA 40-18 ZONA 12 Guatemala, GUATEMALA
Tel.: (502) 24294200 Fax.: (502) 24294200 **www.sherwinca.com**

29/09/2018

Bajo Licencia de * THE SHERWIN-WILLIAMS COMPANY, Cleveland, Ohio. Propietaria de las

Figura 134. Cotización Sherwin Williams (Cont.)

COTIZACIÓN DE PRECIOS

No. Cotización: 2010230000887 **Vendedor:** STEPHANIE CONCEPCION MARROQUIN
Para: cliente contado contado
Sucursal: cliente contado contado
Atención: JOSE
Fecha 26/09/2018 **Dias de vigencia:** 15 **Fecha** 11/10/2018
Proyecto:
Dirección

De acuerdo a su requerimiento, le detallo los precios de venta de los siguientes productos

Cantidad	Producto	Descripción	Medida	Precio	Precio Vta - Desc	Precio Vta + Imp	Total + Imp
1	B58VX600-1	MACROPOXY 646 PW EPOXY SG HARDENER PART B	Galon	982.14	982.14	1,100.00	1,100.00
1	B58WX610-1	MACROPOXY 646 PW EPOXY SG WHITE PART A	Galon	982.14	982.14	1,100.00	1,100.00
					Total		**2,199.99**

Moneda : Quetzal
Tipo 1

Total sin Desc:	1,964.28
Total sin Imp:	**1,964.28**
Imp:	235.71
Total + Imp:	**2,199.99**

Autorizaciones

DISTRIBUIDORA DE MATERIALES LA PINTURA, S.A.
AVENIDA PETAPA 40-18 ZONA 12 Guatemala, GUATEMALA
Tel.: (502) 24294200 Fax.: (502) 24294200 **www.sherwinca.com** 26/09/2018
Bajo Licencia de * THE SHERWIN-WILLIAMS COMPANY, Cleveland, Ohio. Propietaria de las

Southern Industrial Sales Corp
9130 Sunset Drive
Miami FL 33173
ph 305-275-6299
fax 305-275-6259

Quote

Date	Quotation #
10/4/2018	182592

Name / Address
INGENIO SANTA ANA Jackeline Hernandez

Request #	Quoted by	Shipment	Lead-time
centrifugas proyecto Sant	WS	ex works fab.	10-12 semanas

Line	Item	Description	Qty	Unit Price	Total
4	GOULDS-PUMP	bomba 4 Goulds pump model: 3196 size: 2x3-8 MTi construction: Iron casing and impeller, 4140 shaft, with packing, ialert 2 sensor motor: 3hp TEFC premium efficiency motor, 3/60/460v, 1800rpm, 182T frame baseplate and coupling duty point: 72.3gpm @ 68.8ft	1.00	4,792.90	4,792.90
5	GOULDS-PUMP	bomba 5 Goulds pump model: 3196 size: 4x6-10H MTi construction: Iron casing and impeller, 4140 shaft, with packing, ialert 2 sensor motor: 7.5hp TEFC premium efficiency motor, 3/60/460v, 1200rpm, 254T frame baseplate and coupling duty point: 613gpm @ 29.5ft	1.00	8,132.78	8,132.78
				Total	$27,961.10

SOUTHERN INDUSTRIAL SALES

October 4, 2018

Item No: ITEM 182592-4

MODEL: 3196 MTi SIZE: 2x3-8 QTY: 1

Operating Conditions

i-FRAME™

SERVICE

LIQUID	agua , Rated Temp. 90.0 deg F, SP.GR 1.000, Viscosity 1.000 cp, Rated/Max. suction pressure 0.0 / 0.0 psi g
CAPACITY Rated	72.3 gpm
HEAD	68.8 (ft)

Performance at 1750 RPM per HI 14.6 1B basis power

PUBLISHED EFFY	50.0% (CDS)
RATED EFFY	50.0%
RATED POWER	2.6 hp (Run out 3.9 hp)
NPSHR	2.0 ft
DISCH PRESSURE (R)	30.6 psi g (32.0 psi g @ Shut off) based on 0.0 psi g rated suction pressure
PERF. CURVE	1584-5 (Rotation CW viewed from coupling end)
SHUT OFF HEAD	74.0 ft
MIN. FLOW	Continuous Stable: 8.7 gpm Hydraulic: 8.7 gpm Thermal: N/A

Materials

CONSTRUCTION	Ductile iron
CASING	Ductile iron (max.casing pressure @ rated temperature 250.0 psi g)
ST.BOX COVER	Ductile iron
IMPELLER	Ductile iron - Open (8.1250 in rated, max=8.3750 in, min=5.5000 in)
CASING GASKETS	Aramid Fiber with EPDM and Silicate Filler
IMPELLER O-RING	Teflon
SHAFT MATERIAL	SAE 4140
SHAFT SLEEVE	316SS
LUBRICATION	Flood oil
ST.BOX TYPE	Standard non cooled
GLAND	316SS Plain
BEARINGS	6309 (Inboard) 3309 (Outboard)
COUPLING	Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-2 (standard orange element)-S.F. 1.00
COUPLING GUARD	Carbon steel
BASEPLATE	Cast iron camber top B00049A

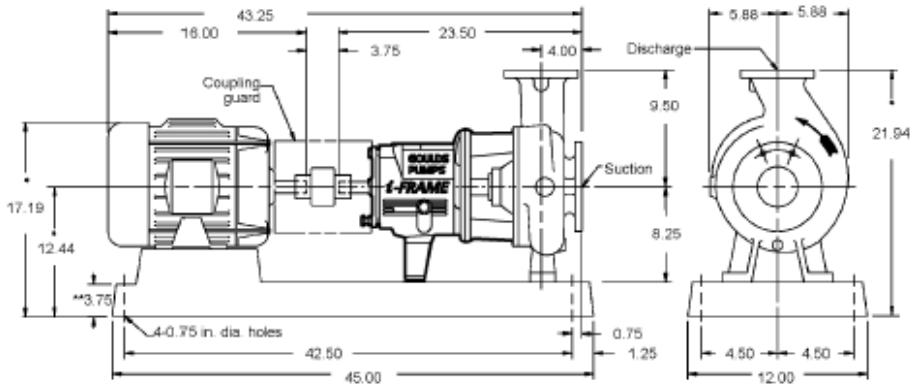
Sealing Method

PACKING	TFE Impregnated

Flanges

150# flat face

GOULDS PUMPS **OUTLINE DRAWING** **Model 3196 MTi**
Size 2x3-8
ITT



Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	3"	DRILLING	ANSI 150#	FACING	FF	FINISH	SERRATED
DISCH.FLANGE SIZE	2"	DRILLING	ANSI 150#	FACING	FF	FINISH	SERRATED
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)			CW				
TYPE OF LUBRICATION	FLOOD OIL					COOLED	NO
TYPE OF STUFFING BOX	STANDARD NON COOLED					COOLED	NO
TYPE OF SEALING	PACKING						

Weights and Measurements

PUMP	220.0 lb
MOTOR/CPLG	95.0/2.0 lb
BASEPLATE	105.0 lb
TOTAL	422.0 lb
GR.VOLUME w/BOX	22.6 ft³
GR.WEIGHT w/BOX	535.0 lb

Motor Specification

MOTOR BY	PUMP MFG	MOUNT BY	PUMP MFG	MFG.	WEG
FRAME	184T	POWER	5.0 hp	RPM	1800
PHASE	3	FREQUENCY	60 HZ	VOLTS	460
INSULATION	F	S.F.	1.15		
ENCLOSURE	SEVERE DUTY/MILL AND CHEMICAL PREMIUM EFFICIENCY				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
- INSTALL FOUNDATION BOLTS IN PIPE SLEEVES
- ALLOW FROM 0.75 to 1.50in. FOR GROUTING. SEE INSTRUCTION BOOK FOR DETAILS.

* Tolerance is -0.38 +0.38

** Foundation bolt grip thickness

Auxiliary Specification

COUPLING BY	PUMP MFG	CPLG TYPE	RENOLD-OMEGA REX ELASTOMER RS-2 (STANDARD ORANGE
CPL GUARD BY	PUMP MFG	CPLG GUARD MATL	CARBON STEEL
BASEPLATE	CAST IRON CAMBER TOP B00049A		
PACKING	TFE IMPREGNATED		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

All dimensions are in inches.
Drawing is not to scale
Weights (lbs) are approximate

Copyright 2018
ITT Corp

FORM # ED0048 Program Version 1.67.0.0

Model: 3196	Size: 2x3-8	Group: MTi	60Hz	RPM: 1750	Stages: 1

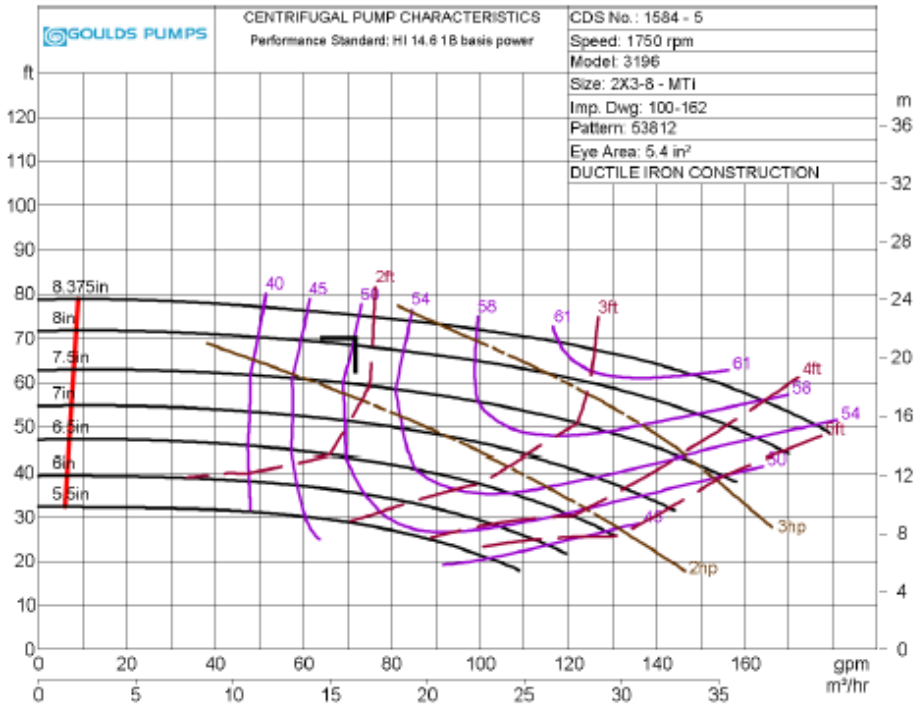
Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182592-4 Date : 10/04/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions

Liquid:	agua	Published Efficiency:	50.0 %	Suction Specific Speed:	8,693 gpm(US) ft
Temp.:	90.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	50.0 %	Min. Hydraulic Flow:	8.7 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	2.6 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	72.3 gpm	Non-Overloading Power:	3.9 hp		
TDH:	68.8 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	8.1250 in		
NPSHa:		NPSHr:	2.0 ft		
Solid size:		Shut off Head:	74.0 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	0.5000 in

Pump Performance

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.



SOUTHERN INDUSTRIAL SALES

October 4, 2018

Item No: ITEM 182592-5

MODEL: 3196 MTi SIZE: 4x6-10H QTY: 1

Operating Conditions

SERVICE

LIQUID	agua , Rated Temp. 90.0 deg F, SP.GR. 1.000, Viscosity 1.000 cp, Rated/Max. suction pressure 0.0 / 0.0 psi g
CAPACITY Rated	613.0 gpm
HEAD	29.5 (ft)

Performance at 1180 RPM per HI 14.6 1B basis power

PUBLISHED EFFY	78.5% (CDS)
RATED EFFY	78.5%
RATED POWER	6.0 hp (Run out 6.7 hp)
NPSHR	6.4 ft
DISCH PRESSURE (R)	13.1 psi g (16.2 psi g @ Shut off) based on 0.0 psi g rated suction pressure
PERF. CURVE	4028-4 (Rotation CW viewed from coupling end)
SHUT OFF HEAD	37.5 ft
MIN. FLOW	Continuous Stable: 77.7 gpm Hydraulic: 77.7 gpm Thermal: N/A

Materials

CONSTRUCTION	Ductile iron
CASING	Ductile iron (max.casing pressure @ rated temperature 250.0 psi g)
ST.BOX COVER	Ductile iron
IMPELLER	Ductile iron - Open (9.3750 in rated, max=10.2500 in, min=8.0000 in)
CASING GASKETS	Aramid Fiber with EPDM and Silicate Filler
IMPELLER O-RING	Teflon
SHAFT MATERIAL	SAE 4140
SHAFT SLEEVE	316SS
LUBRICATION	Flood oil
ST.BOX TYPE	Standard non cooled
GLAND	316SS Plain
BEARINGS	6309 (Inboard) 3309 (Outboard)
COUPLING	Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-4 (standard orange element)-S.F. 1.00
COUPLING GUARD	Carbon steel
BASEPLATE	Cast iron camber top D00057A

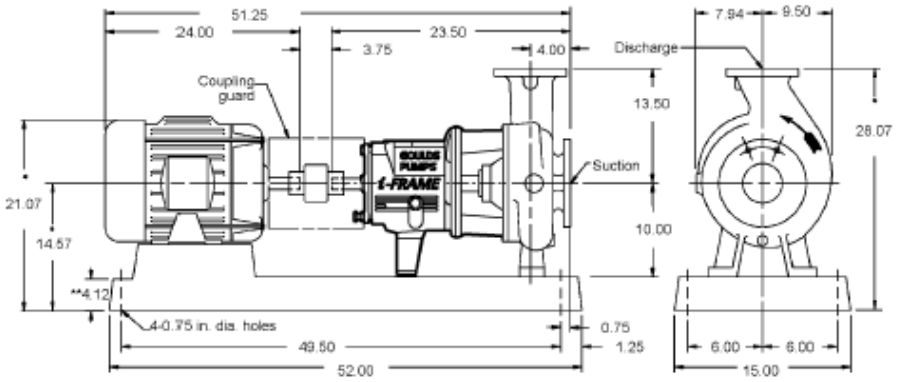
Sealing Method

PACKING	TFE Impregnated

Flanges

150# flat face

GOULDS PUMPS **OUTLINE DRAWING** **Model 3196 MTi**
Size 4x6-10H
ITT



Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	6"	DRILLING ANSI 150#	FACING FF	FINISH	SERRATED
DISCH.FLANGE SIZE	4"	DRILLING ANSI 150#	FACING FF	FINISH	SERRATED
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)		CW			
TYPE OF LUBRICATION	FLOOD OIL			COOLED	NO
TYPE OF STUFFING BOX	STANDARD NON COOLED			COOLED	NO
TYPE OF SEALING	PACKING				

Weights and Measurements

PUMP	336.0 lb
MOTOR/CPLG	270.0/5.5 lb
BASEPLATE	155.0 lb
TOTAL	766.5 lb
GR.VOLUME w/BOX	37.8 ft³
GR.WEIGHT w/BOX	955.5 lb

Motor Specification

MOTOR BY	PUMP MFG	MOUNT BY	PUMP MFG	MFG.	WEG
FRAME	254T	POWER	7.5 hp	RPM	1200
PHASE	3	FREQUENCY	60 HZ	VOLTS	460
INSULATION	F	S.F.	1.15		
ENCLOSURE	SEVERE DUTY/MILL AND CHEMICAL PREMIUM EFFICIENCY				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
- INSTALL FOUNDATION BOLTS IN PIPE SLEEVES
- ALLOW FROM 0.75 to 1.50in. FOR GROUTING. SEE INSTRUCTION BOOK FOR DETAILS.

* Tolerance is -0.38 +0.38

- SUCTION FLANGE HAS 8-3/4-10 UNC TAPPED HOLES

** Foundation bolt grip thickness

Auxiliary Specification

COUPLING BY	PUMP MFG	CPLG TYPE	REXNORD OMEGA REX ELASTOMER RX-4 (STANDARD ORANGE
CPL GUARD BY	PUMP MFG	CPLG GUARD MATL	CARBON STEEL
BASEPLATE	CAST IRON CAMBER TOP D00057A		
PACKING	TFE IMPREGNATED		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

All dimensions are in inches.
Drawing is not to scale
Weights (lbs) are approximate

Copyright 2018
ITT Corp

FORM # ED0048 Program Version 1.67.0.0

Model: 3196	Size: 4x6-10H	Group: MTi	60Hz	RPM: 1180	Stages: 1

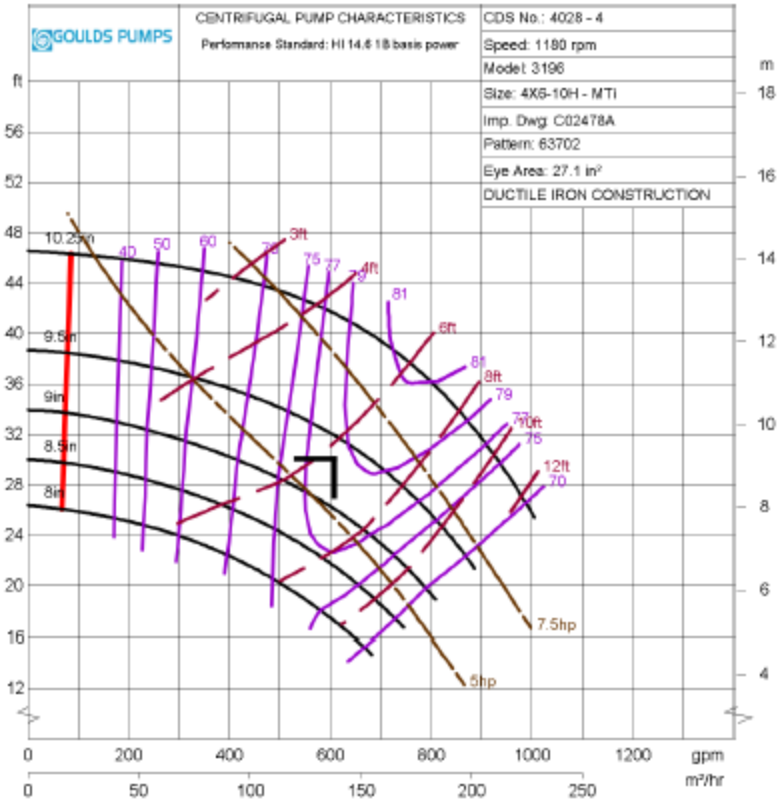
Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182592-5 Date : 10/04/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions

Liquid:	agua	Published Efficiency:	78.5 %	Suction Specific Speed:	8,817 gpm(US) ft
Temp.:	90.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	78.5 %	Min. Hydraulic Flow:	77.7 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	6.0 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	613.0 gpm	Non-Overloading Power:	6.7 hp		
TDH:	29.5 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	9.3750 in		
NPSHa:		NPSHr:	6.4 ft		
Solid size:		Shut off Head:	37.5 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	1.0000 in

Pump Performance

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.



3. Torre de enfriamiento

Thermal cooling tower

Huasteca No. 8, Col. Industrial.
Delg. G. A. M, D.F. C.P 07800
(55)57597766 / 7289 / 7409

ventas@thermal.com.mx
www.thermal.com.mx

SANTA ANA
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

02	Fecha	No. Referencia	Atención	Teléfono
	21 AGO 18	TPN-GT2187-18	ING. ORLANDO PINZON	

03	L.A.B.	Tiempo de entrega	Condiciones comerciales
	Nuestra Planta	4 Semanas	50% Anticipo 50% Contra aviso de embarque

04	Requerimiento
	En relación a su atenta solicitud, nos permitimos presentar a usted nuestra oferta técnica y comercial para la adquisición de una torre de enfriamiento de una celda, la cual se montará en planta. El flujo que se está manejando es de 760 GPM , con temperatura de entrada 37.5°C , temperatura de salida de 31°C en condiciones de bulbo humedo de 25.65 C con las temperaturas proporcionadas por el cliente.

05	Oferta técnica
	EQUIPO: TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO PAQUETE CONTRAFLUJO TIRO INDUCIDO. MARCA:THERMAL COOLING TOWER MODELO: 883/2 S REF: TORRE DE ENFRIAMIENTO
	Nuestra oferta está basada en las especificaciones técnicas proporcionadas por ustedes, para las cuales le presentamos nuestra cotización en fibra de vidrio, es necesario mencionar que la propuesta cumple ampliamente los requerimientos técnicos del CTI Cooling Technology Institute para operar satisfactoriamente.

05	TORRE DE CONTRAFLUJO FABRICADA EN FRP Y CON RELLENO DE SALPIQUEO POLIPROPILENO
Miembros estructurales	Todos los miembros estructurales consisten en fibra de vidrio, reforzada con resina poliéster (FRP). El Piso de los ventiladores, los soportes del mismo, soportes de relleno, de eliminador, los forros, serán de Fibra de Vidrio reforzada con resina poliéster. Este material es capaz de proveer máxima longevidad y fuerza. Todos los componentes del piso de ventiladores, los soportes del mismo, soportes de eliminadores, acoplamiento de los forros, paredes de partición serán fabricados en FRP de acuerdo a los estándares de diseño y manufacturas del CTI según el código CTD-137.
Relleno y soportes	El enfriamiento del agua se realiza en el relleno de salpiqueo de Polipropileno. El diseño ha evolucionado a lo largo de muchos años y es el resultado de horas de investigación y pruebas, buscando la configuración óptima de un relleno celular, arrojando como resultado nuestro relleno Thermal Splash Bar. El relleno es fabricado en un tipo especial de Plastico con retardante a la deformación por ataque de temperatura. Es capaz de soportar hasta dos horas operando a 60ºC, cuenta con protección contra rayos UV y es de bajo nivel de obstrucción. La configuración mecánica del mismo hace posible que sea altamente resistente a los químicos como el ácido, los álcalis y el cloro
Piso de ventiladores	El piso de ventiladores será de Fibra de Vidrio Reforzada con resina poliéster, con refuerzos intermedios y una resistencia de 60 lts/ft2, los materiales serán resistentes a la flama.
Eliminador de Rocío	Los eliminadores de rocío son de PVC termo formado modelo CD-D15 con un espesor de 10 milésimas, los cuales estarán colocados a 6" de distancia del cabezal. Este eliminador de rocío garantiza una retención de menos del 0.005 % del volumen circulado en la torre de enfriamiento. Al igual que el relleno está diseñado para temperaturas hasta de 60° C, valor en el cual ocurre su fatiga mecánica.

Huasteca No. 8, Col. Industrial.
Delg. G. A. M, D.F. C.P 07800
(55)57597766 / 7289 / 7409

ventas@thermal.com.mx
www.thermal.com.mx

05	Descripción Técnica
Ventilador	Los ventiladores son axiales con diseño aerodinámico en las aspas, el ventilador tiene un diámetro total de 54" y 6 aspas fabricadas en aluminio fundido, sólidamente acopladas al mamelón, el cual es fabricado en el mismo material, el ángulo de las aspas es ajustable. La marca del ventilador es Thermal Cooling Tower S.A. de C.V. Los ventiladores son balanceados en master standard, lo cual permite e libre reemplazo de las aspas, el diseño de estos ventiladores no rebasa 85 decibeles.
Motor eléctrico	El motor eléctrico es de alta eficiencia T.C.C.V.E. lo cual garantiza una larga duración y rendimiento, son de una sola velocidad, el voltaje será de 220/440 Volts. Es necesario señalar que los motores son de eficiencia PREMIUM. . La velocidad de operación es de 1,800 RPM y de 60 Hz, el armazón de los motores es a prueba de goteo. La potencia es de 10 HP.
Switch	El switch de vibración es del tipo simple polo doble tiro, el cual interrumpe el circuito si el equipo mecánico vibra más de los límites establecidos para las maquinas en movimiento. **(Por cuenta del cliente)**
Cabezal de Distribución	El cabezal de distribución fabricado en fibra de vidrio, al igual que los ramales del mismo cabezal, los distribuidores de agua caliente son de polipropileno de alto impacto, y diseñados para evitar atascamientos. Además el diseño de la tubería tendrá, una distribución uniforme en toda el área de la torre de enfriamiento. Será por cuenta del cliente el suministro de la tubería principal para conectar el cabezal individual de la torre.
Chimeneas o Recuperadores de Velocidad	La chimenea es fabricada en fibra de vidrio reforzada con resina poliéster y su diseño será aerodinámico, para incrementar la velocidad del aire, el cual es impulsado por el ventilador.
Soporte de equipo mecánico	**SOPORTE EQUIPO MECÁNICO:** Los equipos mecánicos están montados sobre una base fabricada en acero galvanizado en caliente, la cual tiene su propio guarda protector.
Basin o cisterna	La cisterna o basin es fabricada en fibra de vidrio reforzada con resina poliéster e incluye una válvula flotador.
Acceso pasa Hombre	Se tiene una escalera en uno de los extremos y será de Acero Recubierto de Pintura anticorrosivo. Cada celda tiene acceso al piso de ventiladores por medio de una escalera tipo marino. Y un acceso pasa hombre el cual facilita el libre acceso hacia el interior del equipo, así como su limpieza y mantenimiento.
Cuerpo forros	La cubierta o cuerpo de la torre de enfriamiento es fabricada en fibra de vidrio reforzada con resina poliéster. El espesor es de 12onzas/ft2 y están fabricados de material anti-flama.
Tornillería	La torre de enfriamiento se encuentra ensamblada con tornillería de Acero Inoxidable tipo 304

06	Estándares de los materiales

Los estándares que se mencionan a continuación forman parte de nuestros criterios para el diseño de las torres de enfriamiento:

ANSI:	American National Standards Institute.
ASME:	American Society Of Mechanical Engineers.
ASTMA:	American Society For Testing And Materials.
CTI:	Cooling Tower Institute.
AGMA:	American Gear Manufacturers Association.
ACI:	American Concrete Institute.
NEMA:	National Electric Manufacturers Association.
IEEE:	Institute Of Electric And Electronic Engineers.
UBC:	Uniform Building Code.
STD-103	Diseño de torres de enfriamiento con madera (C.T.I.)
STD-13A	Uso de triplay en Torre de Enfriamiento (C.T.I.)
STD-114	Diseño de Torre de Enfriamiento con Douglas Fir (C.T.I.)
WMS-112	Tratamiento químico de madera (C.T.I.)
STD-131	Diseño de fibra de vidrio para Torre de Enfriamiento (C.T.I.)
STD-111	Diseño de reductores de velocidad (C.T.I.)
AT-105:	Acceptance Test Procedure (modified for ambient wet bulb)
ATC-150:	Acceptance Test Procedure (for wet and dry cooling towers)
STD- 135	Polyvinyl Chloride Materials used for Film Fill, Splash Fill, Louvers and Drift Eliminators.
ATC-128:	Code for Measurement of Sound from Water Cooling Towers

Huasteca No. 8, Col. Industrial.
Delg. G. A. M, D.F. C.P 07800
(55)57597766 / 7289 / 7409

ventas@thermal.com.mx
www.thermal.com.mx

		BUL-109	Nomenclature for Industrial Water Cooling Towers
		PTB-110	Recirculation
		STD-203	Industrial Cooling Tower Standard.
		STD-136	Thermoplastic Materials Used for Film Fill, Splash Fill, Louvers and Drift Eliminators.
		STD-137	Fiberglass Pultruded Structural Products for Use in Cooling Towers.

07 Datos de diseño y características de la torre de enfriamiento

CARATERISTICAS	TIPO	PAQUETE	CONDICIONES DE OPERACION	FLUJO DE AGUA (GMP)	760 GPM
	FLUJO DE AIRE	CONTRA FLUJO		TEMP. AGUA CALIENTE	37.5 °C
	MODELO No.	TPFV-883/1		TEMP. AGUA FRÍA	31 °C
	DIBUJO No.	ANEXO		TEMP. BULBO HÚMEDO	25.65 °c
	No. DE CELDAS	1		HUMEDAD RELATIVA (%)	80
	POSICION	CUADRADA		CARGA DE CALOR (mmBtu/hr)	4.81 MBTU/hr
				PERDIDA POR EVAPORACION	0.91 %
VENTILADORES	No. DE VENTILADORES	1		ELEVACION (ft)	
	FABRICANTE	TCT			
	TIPO	AXIAL	MOTORES	NUMERO	1
	MODELO NUMERO	TC54		FABRICANTE	SIEMENS O SIMILAR
	DIAMETRO	54"		TIPO	TCCVE
	NUMERO DE ASPAS	6		TAMAÑO	284T
	MATERIAL DEL ASPA	ALUMINIO		POTENCIA	10 HP
	MATERIAL DEL MAMELON	ALUMINIO		FACTOR DE SERVICIO	1.15
	ROTACION	10681.4 FT/MIN		ROTACION (rpm)	1800 rpm
	VELOCIDAD DE VENTILADOR	1,800		VOLTAJE (volts)	220 V
	BHP DE VENTILADOR	10		FRECUENCIA	60 Hz
	EFICIENCIA ESTATICA (%)	95		FASES	3
	FLUJO DE AIRE (cfm)	46,180 ACFM (p/ventilador)			
	PRESIÓN ESTATICA (in Wg.)	0.351	DISTRIBUCION	TIPO	GRAVEDAD
				MATERIAL	ACERO Y/O PVC
DIMENCIONES	CADA CELDA (LXW)	8 FT X 8 FT		DIAMETRO DE TUBERIA	4"
	DIMENSIONES GRALS. (LXW)	8 ft x 8 ft		ALTURA DE ALIMENTACION	8 FT
	ALTURA DE LA CHIMENEA (ft)	1'10 ½"		ALTURA DE BOMBEO	10 FT
	ALTURA DE BASIN A PISO	3' 1"			
			ELIMINADOR	TIPO	UNICELULAR
RELLENO	TIPO	RELLENO HIBRIDO		MATERIAL	PVC
	MATERIAL	HPVC resistente a grasas y acidos		PERDIDA DE ROCÍO (%)	0.005 %
	ÁREA DE RELLENO	192 FT3			
	INUNDAMIENTO	11.87 GPM/FT2	ESTRUCTURA	FORROS	NO APLICA
	ENTRADA AIRE	4 LADOS		PISO DE VENTILADORES	FV
				ESTRUCTURA	ACERO INTERNO
REDUCTOR DE VELOCIDAD	NUMERO	NO APLICA		ESCALERAS	NO APLICA
	FABRICANTE	NO APLICA		BARANDALES	NO APLICA
	TIPO	NO APLICA			
	MODELO	NO APLICA	FLECHA DE TRANSMISION	NUMERO	NO APLICA
	RELACIÓN DE REDUCCION	NO APLICA		FABRICANTE	NO APLICA
	FACTOR DE SERVICIO	NO APLICA		MODELO No.	NO APLICA
	No. DE REDUCCIONES	NO APLICA		FACTOR DE SERVICIO	NO APLICA
	LUBRICACION	NO APLICA		MATERIAL DEL CUERPO	NO APLICA
				MATERIAL FLEXIBLE	NO APLICA

DATOS Y ACCESORIOS DE EQUIPOS ADICIONALES		
1		
2		

Huasteca No. 8, Col. Industrial.
Delg. G. A. M, D.F. C.P 07800
(55)57597766 / 7289 / 7409

ventas@thermal.com.mx
www.thermal.com.mx

08 Oferta comercial

A continuación me permito mencionar el alcance del trabajo, precio del equipo y condiciones de venta

El alcance de los trabajos de nuestra propuesta es el contemplado en los siguientes puntos:

A).- Planos generales de la Torre de Enfriamiento.
B).- Materiales necesarios para el montaje de la Torre de Enfriamiento (Relleno, Eliminadores, Hardware, Equipo mecánico completo, Chimenea de fibra de vidrio, Cabezal del mismo material, Estructura de fibra de vidrio).
D).- Supervisión de montaje y puesta en marcha (2 Días).
E).- Manuales de operación y mantenimiento.

POR OTROS

A).- Construcción de Base para montaje de la torre (materiales y mano de obra) se proporcionaran planos
B).- Obra eléctrica.
C).- Obra mecánica.
D).- Permisos de construcción.
E).- Sindicatos.

09 Inversión y condiciones comerciales

El precio de la torre de enfriamiento Modelo: **883/4** es de:

PRECIO $ 39,100.00

(TREINTA Y NUEVE MIL CIEN DOLARES AMERICANOS 00/100 USD)

La torre cuenta con garantia por 36 meses contra cualquier defecto de fabricacion.

El precio anterior se entiende **EXWORKS En nuestra planta en el Estado de Mexico.**

El precio contempla la supervisión del montaje de la Torre de Enfriamiento, por un técnico de Thermal Cooling Tower, S. A. de C. V. y no incluye impuestos de I.V.A., los cuales serán por cuenta del cliente y serán cargados al momento de facturar.

08 Términos de pago.

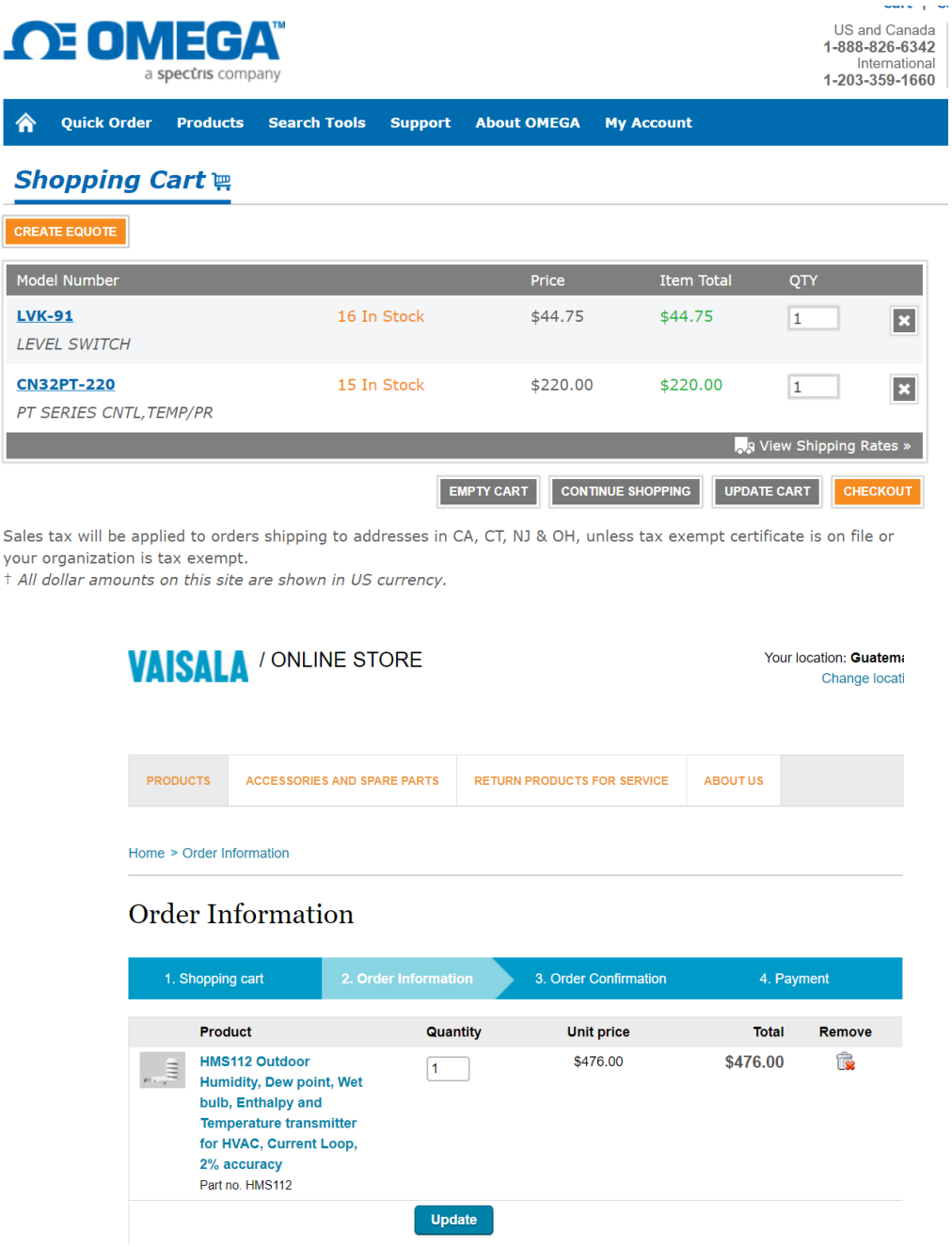
TÉRMINOS DE PAGO:

1) 50% de anticipo con su orden de pago
2) 50% contra entrega

2.-TIEMPO DE ENTREGA:

2.1) Planos, dibujos generales de ingeniería	1 semana
2.2) Suministro del equipo	4 semanas
2.3) Tiempo total de entrega del equipo	4 semanas
2.4) Puesta en marcha	1 día
2.5) Manual de operación y mantenimiento	Con arranque de equipo

3. Control e instrumentación



4. Información consultada

Figura 135. Parámetros para el tipo de empaque de torres de enfriamiento

Table 3 Data for the second set of packings

Tableua 3 *Données sur le deuxième ensemble de garnissages*

Packing type	Description of packing[a]	Fig. No.	Dimensions in Fig. 2							No. of dynamic pressures lost per unit depth: Loading, L 4882 kg h^{-1}m^{-2} Air velocity (m s^{-1})		Loading, L 9765 kg h^{-1}m^{-2} Air velocity (m s^{-1})	
			h_a	v_a	H	W	S	λ	m	0.9144	1.8288	0.9144	1.8288
PN-1	TSB	*2a*			152	229	76	0.295	0.50	8.86	6.56	11.48	8.53
PN-2	TSB	*2a*			114	457	57	0.236	0.47	6.23	5.25	9.19	6.89
PN-3	FAS	*2c*			45			0.288	0.70	2.296	1.804	3.28	2.29
PN-4	FAS	*2c*			25			0.459	0.73	2.952	2.297	3.94	3.28
PN-5	TSB	*2a* (with bars upside down)			152	229	76	0.276	0.49	11.15	8.86	16.73	11.81
PN-6	CAS	*2d*	54	146	45			0.689	0.69	10.5	8.86	12.47	10.17
PN-7	CAS	*2e*	$h_b = 54$	$v_b = 146$		$H = 45$		0.36	0.66	3.281	1.64	5.25	2.62
PN-8	CAS	*2f*	54	146	25			0.558	0.58	14.44	13.45	16.73	15.75
PN-9	TSB	*2b*			102	203		0.243	0.52	3.937	2.952	6.56	4.26
PN-10	AL	*2g*	25	146	25	273		0.666	0.70	8.853	8.202	10.17	9.84
PN-11	AL	*2g*	38	133	25	159		1.152	0.66	34.45	31.17	39.37	34.45
PN-12	AL	*2g*	38	133	38	51		0.331	0.63	9.514	7.55	11.81	8.53
PN-13	RSB	*2h*			203	229	51	0.282	0.52	8.202	6.23	10.17	8.86
			h_a	v_a	h_b	v_b							
PN-14	CAS	*2i*	27	73	27	73		1.010	0.80	29.53	26.25	29.53	29.53
PN-15	CAS	*2i*	54	146	27	73		0.814	0.79	35.43	32.81	37.73	36.09
PN-16	CTP	*2j*	$h_t = 15.0$			$d = 25.0$		0.990	0.45				

[a]CAS, corrugated asbestos sheets; RSB, rectangular splash bars; TSB, triangular splash bars; FAS, flat asbestos sheets; AL, asbestos louvres; CTP, cellular type packing

Figura 136. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero

Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero†

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in.²	Área de la sección interior, ft²	Circunferencia, ft, o superficie, ft²/ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1120	2.17
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1995	3.00
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4600	5.02
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10275	10.25
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158350	88.57

†Basados en ANSI B36. 10-1959, con autorización de ASME.

Figura 137. Valores de rugosidad para diferentes materiales

TABLE 6-1 Values of Surface Roughness for Various Materials*

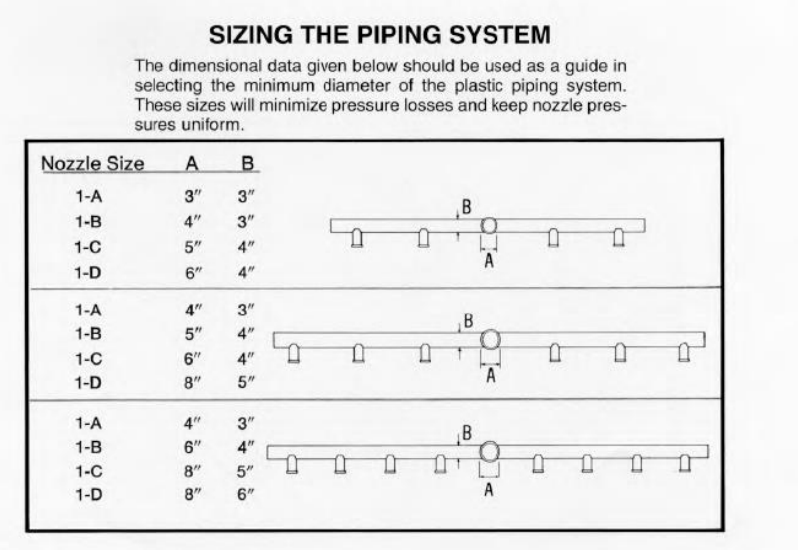
Material	Surface roughness ϵ, mm
Drawn tubing (brass, lead, glass, and the like)	0.00152
Commercial steel or wrought iron	0.0457
Asphalted cast iron	0.122
Galvanized iron	0.152
Cast iron	0.259
Wood stove	0.183–0.914
Concrete	0.305–3.05
Riveted steel	0.914–9.14

Figura 138. Pérdida de fricción en accesorios y tuberías

TABLE 6-4 Additional Frictional Loss for Turbulent Flow through Fittings and Valves[a]

Type of fitting or valve	Additional friction loss, equivalent no. of velocity heads, *K*
45° ell, standard[b,c,d,e,f]	0.35
45° ell, long radius[c]	0.2
90° ell, standard[b,c,e,f,g,h]	0.75
Long radius[b,c,d,e]	0.45
Square or miter[h]	1.3
180° bend, close return[b,c,e]	1.5
Tee, standard, along run, branch blanked off[e]	0.4
Used as ell, entering run[g,i]	1.0
Used as ell, entering branch[c,g,i]	1.0
Branching flow[j,k]	1[l]
Coupling[c,e]	0.04
Union[e]	0.04
Gate valve,[b,e,m] open	0.17
¾ open	0.9
½ open	4.5
¼ open	24.0
Diaphragm valve, open	2.3
¾ open	2.6
½ open	4.3
¼ open	21.0
Globe valve,[e,m]	
Bevel seat, open	6.0
½ open	9.5
Composition seat, open	6.0
½ open	8.5
Plug disk, open	9.0
¾ open	13.0
½ open	36.0
¼ open	112.0
Angle valve,[b,e] open	2.0
Y or blowoff valve,[b,m] open	3.0
Plug cock	
θ = 5°	0.05
θ = 10°	0.29
θ = 20°	1.56
θ = 40°	17.3
θ = 60°	206.0
Butterfly valve	
θ = 5°	0.24
θ = 10°	0.52
θ = 20°	1.54
θ = 40°	10.8
θ = 60°	118.0
Check valve,[b,e,m] swing	2.0
Disk	10.0
Ball	70.0
Foot valve[e]	15.0
Water meter,[h] disk	7.0
Piston	15.0
Rotary (star-shaped disk)	10.0
Turbine-wheel	6.0

Figura 139 Dimensiones para tubería y aspersores de torre de enfriamiento



SIZING THE PIPING SYSTEM

The dimensional data given below should be used as a guide in selecting the minimum diameter of the plastic piping system. These sizes will minimize pressure losses and keep nozzle pressures uniform.

Nozzle Size	A	B
1-A	3″	3″
1-B	4″	3″
1-C	5″	4″
1-D	6″	4″
1-A	4″	3″
1-B	5″	4″
1-C	6″	4″
1-D	8″	5″
1-A	4″	3″
1-B	6″	4″
1-C	8″	5″
1-D	8″	6″

Figura 140. Presión de vapor del agua líquida entre 0°C y 373°C

T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa
0	4.5840	6.1115	47	79.709	106.27	95	634.61	846.08
0.01	4.58780	6.11657	48	83.834	111.77	96	658.34	877.71
1	4.9286	6.5709	49	88.147	117.52	97	682.78	910.30
2	5.2954	7.0599	50	92.648	123.52	98	707.98	943.90
3	5.6861	7.5808	51	97.343	129.78	99	733.95	978.52
4	6.1021	8.1355	52	102.24	136.31	100	760.00	1013.3
5	6.5449	8.7258	53	107.35	143.12	101	787.57	1050.0
6	7.0158	9.3536	54	112.67	150.22	102	815.86	1087.7
7	7.5164	10.021	55	118.23	157.62	103	845.12	1126.7
8	8.0482	10.730	56	124.01	165.33	104	875.06	1166.7
9	8.6130	11.483	57	130.03	173.36	105	906.07	1208.0
10	9.2123	12.282	58	136.29	181.71	106	937.92	1250.5
11	9.8483	13.130	59	142.82	190.41	107	970.60	1294.0
12	10.522	14.028	60	149.61	199.46	108	1004.42	1339.12
13	11.237	14.981	61	156.67	208.88	109	1038.92	1385.11
14	11.993	15.990	62	164.02	218.67	110	1074.56	1432.63
15	12.795	17.058	63	171.65	228.85	111	1111.20	1481.48
16	13.642	18.188	64	179.59	239.43	112	1148.74	1531.53
17	14.539	19.384	65	187.83	250.42	113	1187.42	1583.10
18	15.487	20.647	66	196.39	261.83	114	1227.25	1636.20
19	16.489	21.983	67	205.28	273.68	115	1267.98	1690.50
20	17.546	23.393	68	214.51	285.99	120	1489.14	1985.36
21	18.663	24.882	69	224.09	298.76	125	1740.93	2321.05
22	19.841	26.453	70	234.03	312.01	130	2026.10	2701.24
23	21.085	28.111	71	244.33	325.75	135	2347.26	3129.42
24	22.395	29.858	72	255.02	340.00	140	2710.92	3614.26
25	23.776	31.699	73	266.11	354.78	145	3116.76	4155.34
26	25.231	33.639	74	277.59	370.09	150	3570.48	4760.25
27	26.763	35.681	75	289.49	385.95	175	6694.08	8924.71
28	28.376	37.831	76	301.82	402.39	200	11 659.16	15 544.27
29	30.071	40.092	77	314.58	419.41	225	19 123.12	25 495.40
30	31.855	42.470	78	327.80	437.03	250	29 817.84	39 753.85
31	33.730	44.969	79	341.48	455.27	275	44 590.84	59 436.23
32	35.700	47.596	80	355.63	474.14	300	64 432.8	85 903.3
33	37.769	50.354	81	370.28	493.67	325	90 447.6	120 587
34	39.942	53.251	82	385.43	513.87	350	124 001.6	165 321.9
35	42.221	56.290	83	401.10	534.76	360	139 893.2	186 508.9
36	44.613	59.479	84	417.30	556.35	365	148 519.2	198 009.3
37	47.121	62.823	85	434.04	578.67	366	150 320.4	200 410.7
38	49.750	66.328	86	451.33	601.73	367	152 129.2	202 822.3
39	52.506	70.002	87	469.21	625.56	368	153 960.8	205 264.2
40	55.391	73.849	88	487.67	650.17	369	155 815.2	207 736.5
41	58.413	77.878	89	506.73	675.58	370	157 692.4	210 239.2
42	61.577	82.096	90	526.41	701.82	371	159 584.8	212 762.2
43	64.886	86.508	91	546.72	728.90	372	161 507.6	215 326.8
44	68.349	91.124	92	567.68	756.84	373	163 468.4	217 939.9

Figura 141. Bomba centrífuga para utilizar en el circuito de recirculación del tándem “A”

Request #	Quoted by	Shipment	Lead-time
centrifugas proyecto Sant	WS	ex works fab.	8 semanas

Line	Item	Description	Qty	Unit Price	Total
4	GOULDS-PUMP	Goulds pump model: 3196 size: 3x4-8 MTi construction: Ductile iron casing and impeller, with 4140 shaft, packing and ialert 2 sensor motor: 10hp TEFC premium efficiency motor, 1800rpm, 3/60/460v, 215T frame with Goulds baseplate and coupling duty point: 380gpm @ 53ft	1.00	6,195.00	6,195.00
5	GOULDS-PUMP	Goulds pump model: 3196 size: 3x4-8 MTi construction: Ductile iron casing and impeller, with 4140 shaft, packing and ialert 2 sensor motor: 5hp TEFC premium efficiency motor, 1800rpm, 3/60/460v, 184T frame with Goulds baseplate and coupling duty point: 350gpm @ 28ft	1.00	5,978.00	5,978.00
6	GOULDS-PUMP	Goulds pump model: 3196 size: 4x6-10G MTi construction: Ductile iron casing and impeller, with 4140 shaft, packing and ialert 2 sensor motor: 5hp TEFC premium efficiency motor, 1200rpm, 3/60/460v, 215T frame with Goulds baseplate and coupling duty point: 350gpm @ 23ft	1.00	7,680.00	7,680.00

Figura 142. Especificaciones bomba propuesta aérea

Model: 3196	Size: 3x4-8	Group: MTi	60Hz	RPM: 1760	Stages: 1

Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182654-5 Date : 10/17/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions **Pump Performance**

Liquid:	agua	Published Efficiency:	69.0 %	Suction Specific Speed:	10,336 gpm(US) ft
Temp.:	104.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	69.0 %	Min. Hydraulic Flow:	76.1 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	3.8 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	350.0 gpm	Non-Overloading Power:	4.2 hp		
TDH:	28.0 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	6.3750 in		
NPSHa:		NPSHr:	5.4 ft		
Solid size:		Shut off Head:	42.4 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	1.1250 in

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.

Figura 143. Especificaciones bomba propuesta subterránea

Model: 3196	Size: 4x6-10G	Group: MTi	60Hz	RPM: 1165	Stages: 1

Job/Inq.No. :
Purchaser :
End User:
Item/Equip.No. : ITEM 182654-6 Date : 10/17/2018
Service :
Order No. : Rev. : 0

Operating Conditions **Pump Performance**

Liquid:	agua	Published Efficiency:	69.5 %	Suction Specific Speed:	9,717 gpm(US) ft
Temp.:	104.0 deg F	Rated Pump Efficiency:	69.5 %	Min. Hydraulic Flow:	126.3 gpm
S.G./Visc.:	1.000/1.000 cp	Rated Total Power:	3.0 hp	Min. Thermal Flow:	N/A
Flow:	350.0 gpm	Non-Overloading Power:	3.2 hp		
TDH:	23.0 ft	Imp. Dia. First 1 Stg(s):	8.3750 in		
NPSHa:		NPSHr:	6.6 ft		
Solid size:		Shut off Head:	30.1 ft		
% Susp. Solids (by wtg):		Vapor Press:		Max. Solids Size:	1.0000 in

Notes: 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Curve shown is at ambient temperature conditions.

XIII. GLOSARIO

AFLUENTES: Agua captada por un ente generador

BCL (Capacidad de Nivel Inferior). En un tanque colocado en el suelo, el BCL es el nivel del tanque que queda cuando este se vacía utilizando las tuberías de descarga instaladas. (AWWA, 1999)

BOMBA CENTRÍFUGA: Máquina que aprovecha la rotación de su impulsor para poder producir un aumento de presión y velocidad al fluido que se desea desplazar; es una de las más utilizadas.

BOMBA: Máquina que transforma energía mecánica en energía de presión y velocidad en un fluido. Constituido por un motor, un mecanismo de transmisión y uno de impulsión

BOMBAS DE INYECCIÓN: Son los equipos que bombean el agua condensada o de otra fuente hacia un tanque pulmón de alimentación a la caldera. De este tanque toman el agua las bombas de inyección hacia los calderines de cada circuito de la caldera (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

CABEZA DE LA BOMBA: Energía desarrollada por una bomba.

CACHAZA: Material retenido y descargado por filtros que se encargan de filtrar los lodos del clarificador. (Rein, 2012)

CALDERA: Es un aparato a presión, donde el calor procedente de la combustión de un combustible u otra fuente de energía se transforma en energía térmica utilizable a través de un fluido transportador de la energía en fase líquida o vapor. Se puede distinguir entre calderas acuatubulares y pirotubulares (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

CAPACIDAD DE UN TANQUE. El volumen neto que puede removerse del tanque cuando está lleno hasta su máxima capacidad (TCL) y se vacía hasta su nivel más bajo (BCL). (AWWA, 1999)

CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE: La determinación de propiedades físicas y químicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos por un reglamento establecido.

Caudal: El volumen de agua por unidad de tiempo. (MARN, 2006)

CAUDAL: Es el volumen de un fluido por unidad de tiempo (Gobierno de la República de Guatemala, 2006).

CAVITACIÓN: Se le denomina así a la formación y ruptura de burbujas de vapor en el medio líquido que está siendo bombeado, provocando desprendimiento de partículas de material y ocasionando una presión de succión.

CHUMACERA: Pieza de metal, con un hueco donde descansa y guía cualquier eje de maquinaria y enfría el eje de un equipo.

CONDUCTIVIDAD: Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad. Su unidad de medida en el sistema internacional es el Siemens (RAE, 2018).

CRISTALIZADOR: Equipo en el cual se da la nucleación y crecimiento de los cristales. (Rein, 2012)

CUERPO RECEPTOR: Embalse natural, lago, laguna, río, quebrado, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales. (MARN, 2006)

CURVAS CARACTERÍSTICAS: La representación gráfica de la carga real, el consumo total de potencia y el rendimiento frente al flujo volumétrico. (McCabe, 2007)

DENSIDAD: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo (RAE, 2018).

DUREZA TOTAL: Se refiere al contenido de sales de los metales alcalinotérreos calcio, magnesio, estroncio y bario en el agua (Merck Millopore, 2013).

EFLUENTE: Agua descargada a un cuerpo receptor. (MARN, 2006)

Ex Work incoterm: El vendedor cumple su obligación de entrega cuando pone la mercancía, en su establecimiento (fábrica, almacén, etc.), a disposición del comprador. (Incoterms, 2010)

EYECTOR DE UN TURBOGENERADOR: Dispositivo consistente en una tobera que descarga un chorro de fluido a alta velocidad a través de una cámara de succión conectada a la cámara que se desea evacuar (Estrada Juárez, 2011).

FAU: Unidades nefelometría de atenuación.

GRASAS Y ACEITES: Se refiere a un tipo de contaminante que incluye sebo, aceites y ceras, así como otros constituyentes que se puedan determinar por extracción con triclorofluoroetano. Su presencia se debe principalmente a actividades humanas (Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreto, 2003).

HIDROLAVADORA: Equipo utilizado para el lavado de evaporadores del ingenio.

INCOTERMS: International comercial terms, términos internacionales de comercio.

MAZA: Cilindro de gran tamaño y peso, compuesto por un eje de acero con una camisa de hierro fundido en su parte media, también se les llama cilindros o rodillos. El molino puede tener 4 mazas llamadas cañera, bagacera, superior y cuarta maza.

MUÑÓN: Sección del eje o flecha que descansa en el rodamiento

NPSH: Presión absoluta generada en la succión de una bomba.

P&ID: Piping and Instrumentation Diagram.

PARÁMETRO: la variable que identifica una característica del agua. (MARN, 2006)

PH: Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución (RAE, 2018). Logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (Chang, 2010).

POLARIZACIÓN: Contenido de sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada. (Rein, 2012)

POTENCIA: Indica la capacidad de efectuar un trabajo por unidad de tiempo, se puede expresar en caballos de fuerza (hp por sus siglas en inglés) en el sistema inglés y en el sistema Internacional como Watt

RANGO: Es la diferencia que existe entre la temperatura de entrada y salida del agua. La dimensión de la torre varía inversamente con el rango. (Apaza, s.f)

REDUCTORES: Máquina capaz de reducir la velocidad y potencia mecánica entregada por un motor.

REUSO DE AGUA: Se refiere al aprovechamiento de un efluente, ya sea que esté tratado o no.

SALINIDAD: Es una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua (Fuentes & Massol-Deyá, 2002).

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: Es la fracción de sólidos presentes en el agua como material no disuelto. A nivel laboratorio se distinguen mediante una filtración y secado hasta peso constante. Se puede distinguir entre los sólidos sedimentables, flotantes y no sedimentables (Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreto, 2003).

TÁNDEM DE MOLINOS: Conjunto de aproximadamente 4 a 7 molinos colocados en cascada para extraer el jugo de la caña de azúcar.

TCL (Capacidad de Nivel Superior). Es el nivel del agua que se alcanza hasta el borde del rebalse. (AWWA, 1999)

TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO (T_{wb}): Se define como la temperatura del aire medida con un termómetro de bulbo húmedo. Esta temperatura se emplea para calcular la humedad relativa del aire y la temperatura de rocío, a través de la carta psicométrica o fórmulas matemáticas. (Apaza, s.f)

TEMPERATURA: Es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente (RAE, 2018).

TORRE DE ENFRIAMIENTO: Es un dispositivo que enfría cierta cantidad de agua aprovechando el proceso de humidificación del aire. Se le considera un equipo auxiliar en los sistemas de refrigeración (Hernández Goríbar, 2009).

TRAYECTO: Espacio que se recorre o puede recorrerse de un punto a otro.

UNIDAD HIDRÁULICA: Es un sistema que funciona enviando aceite a presión hacia un cilindro para que actúe al mover el cilindro y que pueda mover grandes cargas, o para otra aplicación donde se necesite de gran fuerza. El sistema se suele componer de un depósito, aceite, bomba, válvulas y un mecanismo de actuación (ASHM, 2015).

VÁLVULA DE ALIVIO: Mecanismo que impide el retroceso de un fluido que circula por un conducto

VÁLVULA DE RETENCIÓN: Conocida como válvula de cheque, su función es impedir el paso de fluido en un sentido contrario al predeterminado.

VENTILADOR DE LA CALDERA: Son equipos encargados de extraer los gases de combustión de la caldera, o bien, de inyectar aire para la correcta combustión. Trabajan bajo condiciones de operación duras debido a la alta temperatura. Se encargan de crear el flujo de los gases de combustión o del aire. Se compone de un motor, transmisión y aspas (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

VISCOSIDAD: Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas (RAE, 2018).