

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Determinación y cuantificación de pérdidas de azúcar por arrastre, en procesos industriales de un ingenio azucarero y validación de métodos de laboratorio, para proponer mejoras de acuerdo con análisis de costeo y económico

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Diego Alberto Grajeda Caballeros

Emilio Ramiro Rivera Polanco

Emilio José Say Agosto

Gabriela María Gálvez Calderón

José Emilio Velásquez García

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química

Juan Daniel Bran Redondo

para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Sebastián Vásquez Del Cid

para optar al grado Licenciatura en Ingeniería en Ciencia de la Administración

Guatemala
2018

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Determinación y cuantificación de pérdidas de azúcar por arrastre, en procesos industriales de un ingenio azucarero y validación de métodos de laboratorio, para proponer mejoras de acuerdo con análisis de costeo y económico

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Diego Alberto Grajeda Caballeros

Emilio Ramiro Rivera Polanco

Emilio José Say Agosto

Gabriela María Gálvez Calderón

José Emilio Velásquez García

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química

Juan Daniel Bran Redondo

para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial


Sebastián Vásquez Del Cid

para optar al grado Licenciatura en Ingeniería en Ciencia de la Administración

Guatemala
2018

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Frances Recari

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) 
Ing. Estuardo Sierra A.

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Lic. Raúl Dacaret Román

Fecha de aprobación: Guatemala, octubre de 2018

PREFACIO

Durante la elaboración de este trabajo, se tuvo la participación de varias personas a quienes quisiéramos agradecer, debido a que sin ellos este proyecto no hubiera sido posible.

Al ingeniero de planta del ingenio por su tiempo, apoyo y por enseñarnos los procesos que se tienen dentro de la industria y sobre los tipos de pérdidas que se pueden dar en la fabricación; al encargado de laboratorio de calidad, por brindarnos información necesaria para comprender las pérdidas en el proceso y para obtener los resultados del presente trabajo; al encargado del laboratorio de patio de caña y sus analistas, por su tiempo y paciencia para enseñarnos el método de análisis por polarimetría en efluentes y el uso de los distintos equipos utilizados en el presente trabajo. Finalmente, al ingenio azucarero, por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de graduación dentro de sus instalaciones.

Agradecemos a nuestros asesores, quienes brindaron su experiencia y conocimiento a lo largo del proyecto, y a nuestros padres, quienes nos han brindado su apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios superiores

Índice

Prefacio	vi
Listado de cuadros	xi
Listado de figuras	xx
Listado de ecuaciones	xxvi
Resumen	xxviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. MARCO TEÓRICO	5
A. Composición de la caña de azúcar	5
B. Corte de la caña de azúcar	6
C. Muestreo y control de calidad de caña de azúcar	6
D. Correlaciones	8
E. Factor P	9
F. Análisis factorial	10
G. Rangos	10
H. Industria Azucarera en Guatemala	11
I. Proceso de producción del Azúcar	12
J. Caña de azúcar	14
K. Método analíticos para determinación de sacarosa	18
L. Canales de Parshall	23
M. Pérdidas de azúcar en un ingenio azucarero	25
N. Molienda total y cala en 3 días específicos en ingenio azucarero	27
Ñ. Tipos de pérdida de sacarosa en el proceso	27
O. Polarimetría	28
P. Extracción con molinos	28
Q. Pérdidas de sacarosa a lo largo del molino	29
R. Lavado de caña	30
S. Suspensión de lavado de caña	30
T. Bombas de jugo y maceración	31
U. Conductores de caña	32
V. Mantenimiento	32
W. Herramientas para la evaluación de costos	33
X. Herramientas para la estandarización de procesos	34
Y. Gestión de proyectos	35
AA. Análisis de Rentabilidad	36
BB. Análisis de viabilidad	37
CC. Horizonte de tiempo	37
DD. Contrato No. 11 de azúcar	37
EE. Tipo de cambio Quetzal - Dólar estadounidense	37

FF. Banco Central de Guatemala (Banguat)	38
GG. Método de mínimos cuadrados para proyectos	38
HH. Cush Cush - Sedimentador	38
II. Tasa de interés líder del Banco Central de Guatemala	39
V. Antecedentes	40
KK. Metodología (Materiales y Métodos)	45
MM. Propuesta del modelo matemático según el comportamiento de las variables críticas	53
NN. Validación del modelo matemático y propuesta de metodología para datos futuros	54
ÑÑ. Elaboración de un manual de usuarios (programa) para reajustar resultados del muestreo de caña	55
OO. Validación de polarimetría	55
PP. Validación de canales Parshall	56
QQ. Validación de sonda electrónica	57
RR. Identificación de los puntos de alimentación del efluente principal de fábrica	58
SS. Muestreo de puntos de alimentación del efluente principal	59
TT. Recomendaciones para disminución de pérdida de punto crítico	60
UU. Análisis estadístico de muestras obtenidas	60
VV. Materiales y equipo	61
XX. Procedimientos	61
YY. Metodología de toma de muestras y análisis de polarimetría	62
AAA. Metodología de determinación de caudales en canales de agua	63
BBB. Metodología para la determinación de pérdidas de azúcar	64
CCC. Metodología para la determinación de porcentaje de pérdidas de azúcar correspondiente al Tándem B según las pérdidas totales en Parsahl de patio	64
DDD. Metodología para el análisis de mantenimiento de bombas	64
EEE. Identificación de flujos de entrada y salida de presentes en Tándem A	65
FFF. Muestreo de flujos del Tándem A de molinos	66
GGG. Identificación de flujos de entrada y salida presentes en conductores de caña	67
HHH. Determinación de aportes de pérdidas en relación a las totales del ingenio	67
III. Realización de los reportes de seguimiento	68
JJJ. Análisis estadístico	69
KKK. Herramientas	70
a. Metodología para realizar bosquejos de las propuestas	70
b. Metodología para obtener los costos de los materiales a utilizar	72
c. Metodología para obtener los costos de mano de obra	72

d. Metodología para la estandarización del proceso de costeo	73
e. Gestión de actividades y recursos utilizados en el Megaproyecto	74
f. Investigación de campo	75
g. Análisis de rentabilidad	77
h. Diagrama de bloques	78
D. Resultados	79
a. Determinación del proceso de muestreo de las jaulas de caña	79
b. Determinación de las variables críticas	80
c. Modelo matemático	86
d. Validación del modelo matemático	88
e. Manual de usuario	91
f. Validación de los métodos analíticos y de laboratorio	92
g. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica	102
h. Determinación de pérdida de sacarosa por arrastre de Tándem B	108
i. Reducción de pérdida de sacarosa en zafra 2017-2018	114
j. Identificación de las causas de pérdida de azúcar en los puntos de control de Tándem B de molinos y conductores de patio de caña	115
k. Pérdida en Tándem B de molinos y porcentaje correspondiente a efluentes de Parshall de Patio	117
l. Programa de mantenimiento de bombas de jugo de caña y maceración	119
m. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña	120
n. Diagramas de implementaciones	127
o. Costo de los materiales	128
p. Costo de mano de obra	129
q. Estandarización de proceso de costos	130
r. Estandarización de proceso de costos	136
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	155
A Determinación del proceso de muestreo de las jaulas de caña	155
B. Determinación de las variables críticas	156
C. Modelo Matemático	159
D. Validación del modelo matemático	160
E. Elaboración de un manual de usuario	162
F. Validación de los métodos analíticos y de laboratorio	162
G. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica	166
H. Determinación de pérdida de sacarosa por arrastre de Tándem B	171
I. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña	178
J. Análisis costos de las propuestas brindadas y estandarización del proceso de costeo y gestión de proyector	182
K. Análisis de rentabilidad y viabilidad con base en las propuestas realizadas al ingenio	191

VII. CONCLUSIONES	199
1. Propuesta de mejora en muestreo de jaulas de caña	199
2. Validación de métodos analíticos y de laboratorio	199
3. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica	200
4. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B de molinos	201
5. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña	202
6. Análisis de costos de las propuestas generales y estandarización de costeo y gestión de proyectos	202
VIII. RECOMENDACIONES	204
1. Propuestas de mejora en muestreo de jaulas de caña	204
2. Validación de métodos analíticos y de laboratorio	204
3. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica	205
4. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B de molinos	205
5. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña	206
6. Análisis de costos de las propuestas generales y estandarización de costeo y gestión de proyectos	206
7. Análisis de rentabilidad y viabilidad con base en las propuestas realizadas al ingenio	207
IX. BIBLIOGRAFÍA	208
X. ANEXOS	212

Listado de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro No. 1 Composición porcentual de la caña de azúcar madura	6
Cuadro No. 2 Molienda total para 3 días específicos en ingenio azucarero en estudio.	27
Cuadro No. 3 Partes de interés de la bomba	31
Cuadro No. 4. Equipo de medición y muestras	61
Cuadro No. 5 Lista de materiales y equipos usados	69
Cuadro No. 6 Cuadro de herramientas empleadas en el trabajo	70
Cuadro No. 7 Resultado del análisis de regresión factorial para los factores con mayor contribución a la variable respuesta porcentaje de Pol en la caña por el método de Minitab.	80
Cuadro No. 8 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable Grados Brix por el método de Minitab.	81
Cuadro No. 9 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable peso de torta húmeda por el método de MINITAB.	82
Cuadro No. 10 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable Porcentaje de Fibra en la Caña por el método de MINITAB.	83
Cuadro No. 11 Corrección del porcentaje de Pol en la caña promedio y del rendimiento de la caña de azúcar diario para todos los días entre el 18 de febrero y 20 de marzo de la zafra 2017-2018 comparado contra el rendimiento reportado por el ingenio para los mismos días.	88
Cuadro No. 12. Reducción porcentual entre el rendimiento corregido y el rendimiento actual utilizado en el laboratorio	89
Cuadro No. 13. Resultados para el recobrado de azúcar para los distintos análisis de corrección del porcentaje de Pol en las muestras de caña, comparados contra el recobrado real reportado por el ingenio para todos los días entre el 18 de febrero y 20 de marzo del año 2018.	90
Cuadro No. 14: Comparación entre los resultados obtenidos por medio del método de polarimetría y el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en muestras provenientes de los efluentes de un ingenio azucarero	92
Cuadro No. 15 Análisis del diseño del canal Parshall de patio	94
Cuadro No. 16 Análisis de la ecuación de gasto para el canal Parshall de patio	94
Cuadro No. 17 Promedios, mínimos y máximos de sumergencia en el canal de Parshall de patio	94
Cuadro No. 18 Análisis del diseño del canal Parshall de fábrica	96
Cuadro No. 19 Análisis de la ecuación de gasto para el canal Parshall de fábrica	96
Cuadro No. 20 Promedios, mínimos y máximos de sumergencia en el canal de Parshall de fábrica	97
Cuadro No. 21: Diferencia entre las mediciones de la sonda electrónica para medición de caudal (UF AV5000) y el método de alturas y velocidades para el canal de entrada del río Achiguaté, previo al arreglo y limpieza del sensor del equipo	99
Cuadro No. 22: Diferencia entre las mediciones de la sonda electrónica para medición de caudal (UF AV5000) y el método de alturas y velocidades para el canal	99

de entrada del río Achíguate, después del arreglo y limpieza del sensor del equipo	
Cuadro No. 23: Cuadro de metodologías de ensayo	100
Cuadro No. 24: Cuadro de procedimientos muestreo	100
Cuadro No. 25: Cuadro de manuales de validación	101
Cuadro No. 26: Cuadro de hojas de cálculo para validación	101
Cuadro No 27: Listado de tuberías identificadas en esquema a vista de planta.	102
Continuación de Cuadro No 27: Listado de tuberías identificadas en esquema a vista de planta	103
Cuadro No. 28: Concentraciones y caudales promedio encontradas en tuberías con flujo.	105
Cuadro No. 29: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 21.	106
Cuadro No. 30: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 22.	106
Cuadro No. 31: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 23.	106
Cuadro No. 32. Identificación de los puntos de las figuras 51 y 52	109
Cuadro No. 33. Pérdida promedio por lavado en canal previo al lavado de conductores de caña (punto C)	111
Cuadro No. 34. Puntos de pérdida de azúcar identificados	111
Continuación de Cuadro No. 34. Puntos de pérdida de azúcar identificados	112
Cuadro No. 35 Pérdida en bombas	112
Cuadro No. 36. Concentración de agua de enfriamiento en caída de agua de chumaceras	112
Cuadro No. 37 Concentración de agua de enfriamiento en tuberías de recolección de molino 3, 4 y 5	113
Cuadro No. 38 Concentración de agua de enfriamiento en tubería de recolección de molino 1 y 2.	113
Cuadro No. 39. Identificación de pérdidas de sacarosa por arrastre en Tándem B	115
Cuadro No. 40. Pérdida en bombas centrífugas de jugo de caña y de maceración	116
Cuadro No. 41. Pérdida por arrastre con agua de enfriamiento en chumaceras	116
Cuadro No. 42. Concentración de agua de enfriamiento en tuberías de recolección de molino 3, 4 y 5	117
Cuadro No. 43. Concentración de agua de enfriamiento en tubería de recolección de molino 1 y 2.	117
Cuadro No. 44. Promedio de pérdidas totales en Tándem B de molinos	117
Cuadro No. 45. Programa de mantenimiento preventivo, periódico y predictivo de bombas de jugo de caña y maceración según proveedor y análisis de avisos de mantenimiento e intervenciones durante zafra	119
Cuadro No. 46 Porcentaje de aportación del Tándem A de molinos y conductores de caña en relación a las pérdidas reportadas en el parshall de patio	124
Cuadro No. 47 Pérdidas de azúcar identificadas en puntos de control vs total de pérdidas en Parshall de helipuerto	124
Continuación de Cuadro No. 47 Pérdidas de azúcar identificadas en puntos de control vs total de pérdidas en Parshall de helipuerto	125
Cuadro No. 48 Documentos propuestos para control y seguimiento de mantenimiento en bombas de tándem A de molinos	126

Cuadro No. 49: Causas y soluciones obtenidas del análisis por diagrama de Ishikawa y lluvia de ideas,	127
Cuadro No. 50 Comparación gráfica de situación actual contra diseño propuesto	127
Continuación de Cuadro No. 50 Comparación gráfica de situación actual contra diseño propuesto	128
Cuadro No. 51: Costo de materiales requeridos para la propuesta No.1 según cuadro no. 49	128
Cuadro No.52 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.2	129
Cuadro No. 53 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.3 según cuadro no. 49.	129
Cuadro No. 54 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.4 según cuadro no. 49.	129
Cuadro No.55 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.1	129
Cuadro No.56 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.2	129
Cuadro No.57 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.3	130
Cuadro No.58 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.4	130
Cuadro No.59 Costo total requerido para cada propuesta	130
Cuadro No. 60 Matriz de riesgos del proyecto	138
Cuadro No. 61 Acta de Constitución del proyecto	140
Continuación de Cuadro No. 61 Constitución del proyecto	141
Cuadro No. 62 Documento de cierre de proyecto	143
Continuación de Cuadro No.62 Documento de cierre de proyecto	144
Cuadro No. 63 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, respectivamente, propuesta “Conductores de caña en tándem A	144
Cuadro No. 64 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Conductores de caña en tándem A”	145
Cuadro No. 65 Pérdidas expresadas kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Conductores de caña en tándem B	145
Cuadro No. 66 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Conductores de caña en tándem B	145
Cuadro No. 67 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal propuesta “Cush cush	146
Cuadro No. 68 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Cush cush	146
Cuadro No. 69 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Bombas Tándem A	146
Cuadro No. 70 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A	146
Cuadro No. 71 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A	147
Cuadro No. 72 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A	147
Cuadro No. 73 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Bombas Tándem B	147
Cuadro No. 74 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las	148

digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem B	
Cuadro No. 75 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, respectivamente, propuesta “Recirculación	148
Cuadro No. 76 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Recirculación”	148
Cuadro No. 77 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Recirculación	149
Cuadro No. 78 Costo de la pérdida generada, propuesta conductores	149
Cuadro No. 79 Costo de la implementación, propuesta conductores	149
Cuadro No. 80 Costo de la pérdida producida, propuesta bombas	150
Cuadro No. 81 Costo de la pérdida producida, propuesta bombas	150
Cuadro No. 82 Costo de la implementación propuesta bombas	150
Cuadro No. 83 Costo de la pérdida producida, propuesta cush cush.	150
Cuadro No. 84 Costo de la implementación, propuesta cush cush	151
Cuadro No. 85 Costo de la pérdida producida, propuesta recirculación	151
Cuadro No. 86 Costo de la implementación, propuesta recirculación	151
Cuadro No. 87 Costo total a realizar con la implementación de las propuestas generadas junto con la pérdida total de los 4 puntos muestreados en GTQ	151
Cuadro No. 88. Ejemplo de la recopilación de datos y variables durante el muestreo de jaulas de caña de azúcar para las fechas del 18 de febrero al 20 de marzo de 2018	213
Cuadro No. 89. Resumen de los rangos utilizados para los factores temperatura promedio, humedad promedio, tiempo entre corte y muestreo y distancia de viaje	213
Cuadro No. 90. Resumen de resultados de los análisis factoriales con sus respectivos factores, niveles y resultados del valor p y la regresión ajustada.	215
Cuadro No.91: Datos originales de la determinación de concentración de azúcar por medio polarimétrico y cromatográfico	257
Continuación Cuadro No. 91: Datos originales de la determinación de concentración de azúcar por medio polarimétrico y cromatográfico	258
Cuadro No. 92: Datos originales de las medidas y dimensiones del canal Parshall de patio	258
Cuadro No. 93: Datos originales de las mediciones de cresta y valle en 20 muestras para el canal Parshall de patio	259
Cuadro No. 94: Datos originales de las medidas y dimensiones del canal Parshall de fábrica	259
Cuadro No. 95: Datos originales de las mediciones de cresta y valle en 20 muestras para el canal Parshall de fábrica	260
Cuadro No. 96: Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019	261
Cuadro No. 97: Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019	262
Continuación Cuadro No. 97 Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019	263
Cuadro No. 98: Dimensiones del canal de entrada al ingenio azucarero	263
Cuadro No. 99: Datos de tiempo y altura determinados por el método ING.-MM004 previo a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica	263

Cuadro No. 100: Datos de caudal y altura determinados por la sonda electrónica previo a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica	264
Cuadro No. 101: Datos de tiempo y altura determinados por el método ING.-MM004 posterior a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica	264
Cuadro No. 102: Datos de caudal y altura determinados por la sonda electrónica posterior a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica	265
Cuadro No. 103: Resultado intermedio del cálculo de la concentración de sacarosa por el método polarimétrico	270
Continuación de Cuadro No.103: Resultado intermedio del cálculo de la concentración de sacarosa por el método polarimétrico	271
Cuadro No.104: Resultado de la incertidumbre para la concentración de sacarosa encontrada por el método polarimétrico	271
Continuación de Cuadro No.104: Resultado de la incertidumbre para la concentración de sacarosa encontrada por el método polarimétrico	272
Cuadro No.105: Resultados intermedios para la determinación de concentración de sacarosa por medio del método de cromatografía líquida de alta resolución	272
Cuadro No.106: Datos de diferencia y porcentaje de error de las dimensiones del canal de Parshall de patio	273
Cuadro No.107: Datos de sumergencia para las mediciones realizadas en el canal de Parshall de patio	273
Cuadro No.108: Datos de diferencia y porcentaje de error de las dimensiones del canal de Parshall de fábrica	274
Cuadro No.109: Datos de sumergencia para las mediciones realizadas en el canal de Parshall de fábrica	274
Cuadro No.110: Datos de molienda para los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017 - 2018	275
Cuadro No.111: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de patio en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18	275
Continuación de Cuadro No.111: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de patio en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18	276
Cuadro No.112: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de fábrica en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18	276
Continuación de Cuadro No.112: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de fábrica en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18	277
Cuadro No.113: Datos intermedios para el cálculo de caudal por el método de velocidades y alturas posterior al mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica (ING.-MM004)	278
Cuadro No.114: Datos intermedios para el cálculo de caudal por el método de velocidades y alturas posterior al mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica (ING.-MM004)	279
Cuadro No.115: Resultados cualitativos de flujos en cada uno de los efluentes de las tuberías del ingenio azucarero.	284
Continuación de Cuadro No.115: Resultados cualitativos de flujos en cada uno de los efluentes de las tuberías del ingenio azucarero	285

Cuadro No.116: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.	285
Continuación Cuadro No.116: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.	286
Cuadro No.117: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 03 de febrero de 2018.	287
Cuadro No.118: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 17 de febrero de 2018.	288
Cuadro No.119: Datos de concentraciones de pérdidas identificadas de forma alterna dentro de la fábrica.	289
Cuadro No.120: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.	295
Cuadro No.121: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 03 de febrero de 2018.	296
Cuadro No.122: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 17 de febrero de 2018.	297
Cuadro No.123: Caudal, concentración y flujo másSico hallado en pérdidas de la tubería 21.	298
Cuadro No.124: Caudal, concentración y flujo másSico hallado en pérdidas de la tubería 22.	298
Cuadro No.125: Caudal, concentración y flujo másSico hallado en pérdidas de la tubería 23.	298
Cuadro No.126: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 21.	298
Cuadro No.127: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 22.	298
Cuadro No.128: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 23.	298
Cuadro No. 129. Pérdidas reportadas en Parshall de patio	305
Cuadro No. 130. Molienda diaria en Tándem B de molinos	306
Cuadro No. 131. Avisos de mantenimiento de bombas en molinos	307
Cuadro No. 132. Pérdidas de azúcar en Punto A	307
Cuadro No.133 Pérdidas de azúcar en punto B	308
Cuadro No. 134. Pérdidas de azúcar en el día 100 de zafra	308
Cuadro No. 135. Pérdidas de azúcar en el día 114 de zafra	308
Cuadro No. 136. Pérdidas de azúcar en el día 121 de zafra	309
Cuadro No. 137. Pérdidas de azúcar en el día 132 de zafra	309
Cuadro No. 138. Pérdidas de azúcar en el día 142 de zafra	309
Cuadro No. 139. Pérdidas de azúcar en el día 149 de zafra	310
Cuadro No.140. Pérdida promedio en punto A o Tándem B.	313
Cuadro No.141. Pérdida promedio en lavado de conductores de caña	313
Cuadro No.142. Pérdida promedio por lavado en canal previo al lavado de conductores de caña	314
Cuadro No.143. Muestra de datos utilizados para intervalo de confianza	314
Cuadro No. 144. Pérdidas semanales en zafras 2016-2017 y 2017-2018	323
Continuación de Cuadro No. 144. Pérdidas semanales en zafras 2016-2017 y 2017-2018	324

Cuadro No. 145. Mantenimiento realizado a bombas de jugo colado durante zafra en el mes de marzo	325
Cuadro No. 146 Resultados de vista 8 de febrero	325
Cuadro No. 147 Resultados de visita 17 de febrero	326
Cuadro No. 148 Resultados de visita 24 de febrero	327
Cuadro No. 149 Resultados de visita 3 de marzo	328
Cuadro No.150 Resultados de visita 10 de marzo	328
Continuación Cuadro No.150 Resultados de visita 10 de marzo	329
Cuadro No.151 Resultados de visita 17 de marzo	329
Continuación Cuadro No.151 Resultados de visita 17 de marzo	330
Cuadro No.152 Resultados de visita 30 de marzo	330
Continuación Cuadro No.152 Resultados de visita 30 de marzo	331
Cuadro No.153 Resultados de visita 7 de abril	331
Cuadro No.154. Resultados visita 12 de abril	332
Cuadro No.155 Análisis de caudales día 8 de febrero	339
Cuadro No.156 Análisis de pérdidas 8 de febrero	339
Cuadro No.157 Análisis de caudales 17 de febrero	339
Cuadro No.158 Análisis de pérdidas 17 de febrero	340
Cuadro No.159 Análisis de caudales 24 de febrero	340
Cuadro No.160 Análisis de pérdidas 24 de febrero	340
Cuadro No.161 Análisis de caudales 3 de marzo	341
Cuadro No.162 Análisis de pérdidas 3 de marzo	341
Cuadro No.163 Análisis de caudales 10 de marzo	341
Cuadro No.164 Análisis de pérdidas 10 de marzo	342
Cuadro No.165 Análisis de caudales 17 de marzo	342
Cuadro No.166 Análisis de pérdidas 17 de marzo	342
Cuadro No.167 Documento de seguimiento para el control de bombas e inversión asociada.	354
Cuadro No.168 Cronograma de revisión y mantenimiento de bombas de maceración y de jugo mezclado para Tándem A de molinos	357
Cuadro No.169 Análisis Crítico propuesta No.1	369
Cuadro No.170 Análisis Crítico propuesta No.2	370
Cuadro No.171 Análisis Crítico propuesta No.3	371
Cuadro No.172 Análisis crítico propuesta No.4	372
Cuadro No.173 Descripción de materiales propuesta No.1	373
Cuadro No.174 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.1	373
Cuadro No.175 Costo materiales propuesta No.1	373
Cuadro No.176 Descripción de materiales propuesta No.2	374
Cuadro No.177 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.2	374
Cuadro No.178 Costo materiales propuesta No.2	374
Cuadro No.179 Descripción de materiales propuesta No.3	375
Cuadro No.180 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.3	375

Cuadro No.181 Costo materiales propuesta No.3	375
Cuadro No.182 Descripción de materiales propuesta No.4	376
Cuadro No.183 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.4	376
Cuadro No.184 Costo materiales propuesta No.4	376
Cuadro No.185 Rango salarial según clasificación de personal	377
Cuadro No.186 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.1	377
Cuadro No.187 Detalle costo de mano de obra propuesta No.1	377
Cuadro No.188 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.2	378
Cuadro No.189 Costo de mano de obra propuesta No.2	378
Cuadro No.190 Detalle de mano de obra requerida para fabricación propuesta No.3	378
Cuadro No.191 Costo de mano de obra para fabricación propuesta No.3	378
Cuadro No.192 Detalle de mano de obra requerida para implementación propuesta No.3	379
Cuadro No.193 Costo de mano de obra para implementación propuesta No.3	379
Cuadro No.194 Costo total mano de obra propuesta No.3	380
Cuadro No.195 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.4	380
Cuadro No.196 Costo de mano de obra propuesta No.4	380
Cuadro No.197 Costo total Propuesta No.1	381
Cuadro No.198 Costo total Propuesta No.2	381
Cuadro No.199 Costo total Propuesta No.3	381
Cuadro No.200 Costo total Propuesta No.4	381
Cuadro No.201 FODA implementaciones de propuestas	382
Cuadro No.202 FODA estratégico	383
Cuadro No.203 Costo-Beneficio de propuestas	398
Cuadro No.204 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, conductor de caña Tándem A	398
Cuadro No.205 precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la zafra 2017-2018	398
Cuadro No.206 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.	399
Cuadro No.207 Toneladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018 en el Tándem A	399
Cuadro No.208 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem A (UVG)	399
Cuadro No.209 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem A (Ingenio azucarero)	400
Cuadro No.210 pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, bombas Tándem A	401
Cuadro No.211 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)	402
Cuadro No.212 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)	402
Cuadro No.213 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)	403
Cuadro No.214 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)	403
Cuadro No.215 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)	404
Cuadro No.216 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)	404
Cuadro No.217 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado,	405

sedimentador	
Cuadro No.219 Pérdidas de azúcar Sedimentador (UVG)	406
Cuadro No.220 Pérdidas de azúcar sedimentador (Ingenio azucarero)	406
Cuadro No.221 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, conductor de caña Tándem B	407
Cuadro No.222 Precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la zafra 2017-2018	407
Cuadro No.223 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.	408
Cuadro No.224 Teladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018 en el Tándem B	408
Cuadro No.225 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem B (UVG)	408
Cuadro No.226 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem B (Ingenio azucarero)	409
Cuadro No.227 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, bombas Tándem B	410
Cuadro No.228 Pérdidas de azúcar bombas Tándem B (UVG)	411
Cuadro No. 229 Pérdidas de azúcar bombas Tándem B (Ingenio azucarero)	411
Cuadro No.230 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, refinería	412
Cuadro No.231 Precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la zafra 2017-2018	413
Cuadro No.232 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.	414
Cuadro No.233 Teladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018	414
Cuadro No.234 Pérdidas de azúcar tubería 21, área de la refinería (UVG)	414
Cuadro No.235 Pérdidas de azúcar tubería 21, área de la refinería (Ingenio azucarero)	415
Cuadro No.236 Pérdidas de azúcar tubería 22, área de la refinería (UVG)	415
Cuadro No.237 Pérdidas de azúcar tubería 22, área de la refinería (Ingenio azucarero)	416
Cuadro No.238 Pérdidas de azúcar tubería 23, área de la refinería (UVG)	417
Cuadro No.239 Pérdidas de azúcar tubería 23, área de la refinería (Ingenio azucarero)	417
Cuadro No.240 Precio mensual de la libra de azúcar en el mercado internacional (Contrato No.11 expresado en USD cents/lb)	418
Cuadro No.241 Pérdidas de azúcar diarias durante la zafra 2017-2018.	418

Listado de figuras

Figura	Página
Figura No. 1 Ejemplo de ajuste de curva a partir de un conjunto de puntos dados.	9
Figura No. 2 Distribución de la industria azucarera en Guatemala	11
Figura No. 3 Estructura interna de la caña de azúcar	15
Figura No. 4 Estructura química de la sacarosa	16
Figura No. 5 Estructura química de las formas de glucosa.	16
Figura No. 6 Estructura química de las formas de fructosa	17
Figura No. 7 Reacción de inversión o hidrólisis de la sacarosa.	18
Figura No. 8 Esquema gráfico de la polarización de la luz.	19
Figura No. 9 Esquema gráfico del funcionamiento de un polarímetro	20
Figura No.10 Representación gráfica de un sacarímetro	21
Figura No.11 Cromatograma de una muestra de miel que contiene glucosa, sacarosa y fructosa	21
Figura No.12 Diagrama de proceso de la cromatografía líquida de alta resolución	23
Figura No.13 Esquema ilustrativo de las secciones del canal Parshall	23
Figura No.14 Nomenclatura para las secciones del canal de Parshall	24
Figura No.15 Medidas estándar de los aforadores Parshall	25
Figura No.16 Molino convencional de tres masas	29
Figura No.17 Diagrama de flujo de un tren de molinos con imbibición compuesta o Tándem	29
Figura No.18 Bomba de jugo de caña.	31
Figura No.19 Histórico molienda 2013-2014, 2017-2018	40
Figura No.20 Histórico pérdidas de azúcar 2013-2014, 2017-2018	41
Figura No.21 Precio de la libra de azúcar contrato No.11	41
Figura No.22: Canal de Parshall de fábrica del ingenio azucarero	43
Figura No.23: Canal de Parshall de patio del ingenio azucarero	43
Figura No.24: Canal de entrada del ingenio azucarero	44
Figura No.25: Ubicación de los canales de Parshall y canal de entrada	44
Figura No.26 Equipo de muestreo de sonda horizontal (Core Sampler) para jaulas de caña de azúcar en el laboratorio de patio.	47
Figura No.27 Alzadora de caña de azúcar empleada para el muestreo en la parte superior de las jaulas de caña de azúcar en el laboratorio de patio.	47
Figura No. 28. Selección y recolección de la muestra obtenida con la alzadora de caña.	48
Figura No. 29 Sistema de desfibradora y mezcladora para la preparación de las muestras de caña de azúcar obtenidas del Core Sampler y de la alzadora de caña	48
Figura No. 30. Ejemplo de mala posición del sello en el sistema de desfibrado y mezclado para la preparación de la caña en el laboratorio de patio.	49
Figura No. 31. Prensa hidráulica utilizada en el proceso de prensado para la extracción del jugo de la muestra de caña.	49
Figura No. 32. Homogenizador de muestras de jugo para el análisis de polarimetría	50
Figura No. 33. Equipo refractometría utilizado para obtener el resultado de Grados Brix en las muestras de jugo de caña	50
Figura No. 34. Equipo de polarimetría utilizado para las muestras de jugo de caña ya clarificado y filtrado.	51
Figura No. 35 Metodología de todo el proceso de muestreo de las jaulas de caña de azúcar desde el proceso de cosecha en el campo hasta la obtención de los resultados en el laboratorio de patio de caña	79
Figura No. 36: Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el porcentaje de Pol en la caña obtenido del Software Minitab.	84

Figura No. 37 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para los grados Brix en la caña obtenido del Software Minitab.	84
Figura No. 38 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el peso de Torta Húmeda en la caña obtenido del Software Minitab.	85
Figura No. 39 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el porcentaje de fibra en la caña obtenido del software Minitab.	85
Figura No. 40. Comparación de la corrección de los °Brix y el resultado real obtenido por el ingenio.	86
Figura No. 41. Comparación de la corrección del Peso de Torta Húmeda y el resultado del Peso de Torta Húmeda reportado por el ingenio	87
Figura No. 42. Comparación entre el Rendimiento utilizado por el laboratorio, el rendimiento corregido con las ecuaciones de los análisis estadísticos y el Rendimiento real del ingenio.	89
Figura No. 43 Metodología para la corrección de los datos de la zafra 2018-2019 para validar el modelo matemático propuesto.	91
Figura No. 44 Curva de calibración para los resultados obtenidos por el polarímetro con referencia al HPLC	93
Figura No. 45 Distribución de la sumergencia con respecto a la altura de cresta (Ha) en el canal de Parshall de patio	95
Figura No. 46 Variación de pérdidas en los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017-18 en el canal de Parshall de patio	95
Figura No. 47 Distribución de la sumergencia con respecto a la altura de cresta (Ha) en el canal de Parshall de fábrica.	97
Figura No.48 Variación de pérdidas en los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017-18 en el canal de Parshall de fábrica	98
Figura No.49 Esquema a vista de planta de distribución de tuberías a lo largo de fábrica de ingenio azucarero	104
Figura No.50: Diagrama de disminución de pérdidas en licor rubio.	107
Figura No.51 Diagrama de planta de puntos de toma de muestras en lavado de conductores de caña	108
Figura No.52. Diagrama de toma de muestras en Tándem B de molinos	109
Figura No. 53 Pérdida promedio en Tándem B (punto A de análisis).	110
Figura No. 54. Pérdida promedio en lavado de conductores (punto B de análisis)	110
Figura No. 55. Promedio de pérdidas de azúcar en canal Parshall de Patio durante zafra 2017-2018	114
Figura No. 56. Pérdidas semanales de azúcar en Parshall de patio durante zafra 2017-2018	114
Figura 57. Pérdidas semanales de azúcar en canal Parshall de Patio durante zafra 2016-2017	115
Figura No.58. Diagrama de caja y bigote de pérdida total de azúcar en puntos de control de Tándem B	118
Figura No.59 Corte de planta de efluentes para Tándem A.	120
Figura No.60 Corte de principales puntos de control establecidos.	121
Figura No.61 Dibujo de planta para conductores de patio de caña	122
Figura No.62 Principales puntos de control identificados para conductores de patio de caña	123
Figura No.63 Diagrama de Pareto de pérdidas en puntos de control de Tándem A de molinos y conductores de caña	125
Figura No.64 Comportamiento de pérdidas de Tándem A en zafra 2017-2018	126
Figura No.65 Estructura de documentación del proceso de costeo	130
Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo	131
Continuación Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo.	132
Continuación Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo.	133
Figura No.67 DOP para el proceso de costeo	134
Figura No.68 EDT para el proceso de costeo de implementaciones	135

Figura No.69 EDT del Megaproyecto de pérdidas de azúcar	136
Figura No.70 EDT final del Megaproyecto de pérdidas de azúcar	137
Figura No.71 Matriz de responsabilidades del proyecto	139
Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo	152
Continuación Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo	153
Continuación Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo	154
Figura No.73. Metodología para la elaboración del análisis factorial en el Software Minitab.	212
Figura 74. Metodología para limpiar el análisis factorial, deseleccionando los factores que no influyen en la variable y las interacciones entre factores que tampoco son significativos.	212
Figura No.75 Metodología para realizar un diseño factorial en Minitab.	213
Figura No.76. Ejemplo del análisis factorial entregado por Minitab en las pruebas realizadas.	214
Figura No. 77. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 1 entre los factores método de desfibrado y número de desfibradora, comparado contra el Pol%C como respuesta.	216
Figura No. 78. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 2 entre los factores variedad de caña de azúcar y método de muestreo, comparado contra el Pol%C como respuesta.	216
Figura No. 79. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 3 entre los factores variedad de caña de azúcar y método de muestreo, comparado contra el porcentaje de fibra de caña (F%C) como respuesta.	217
Figura No. 80. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 4 entre los factores método de muestreo y rango de temperaturas, comparado contra el Pol%C como respuesta.	217
Figura No. 81. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 5 entre los factores variedad de caña de azúcar y rango de temperaturas promedio, comparado contra el Pol%C como respuesta.	218
Figura No.82. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 6 entre los factores Método de muestreo y rango de humedad promedio, comparado contra el Pol%C como respuesta.	218
Figura No. 83. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 7 entre los factores método de muestreo y rango de tiempos entre cosecha y muestreo, comparado contra el Pol%C como respuesta.	219
Figura No. 84. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 8 entre los factores método de muestreo y rango de distancia de viaje, comparado contra el Pol%C como respuesta	219
Figura No. 85. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 9 entre los factores variedad de corte y tipo de corte de la caña para todas las muestras entre el 18 de marzo y 20 de febrero de 2018, comparado contra el Pol%C como respuesta	220
Figura No. 86. Resultado del Diseño experimental para la variedad y tipo de muestreo partiendo de dos réplicas.	221
Figura No. 87. Diagrama de Pareto para el análisis factorial de las variables identificadas como críticas, previo a la realización de la limpieza de interacción entre factores.	222
Figura No. 88. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Porcentaje de Pol en caña obtenido del Software Minitab.	222
Figura No. 89. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para los Grados Brix en caña obtenido del Software Minitab.	223
Figura No. 90. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Peso de Torta Húmeda en caña obtenido del Software Minitab.	223
Figura No. 91. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Porcentaje de Fibra en caña obtenido del Software Minitab.	224
Figura No. 92. Manual de usuario del programa para realizar las correcciones del porcentaje de Pol en la muestra a partir de las ecuaciones obtenidas en el análisis factorial.	225
Figura No. 93. Guía para la determinación de Pol en la caña utilizado por el laboratorio de calidad para el muestreo de jaulas que ingresan al patio de caña.	233

Figura No.94: Captura de pantalla del programa ING.-MVE001	256
Figura No.95: Captura de pantalla del programa ING.-MVE002	256
Figura No.96: Captura de pantalla del programa ING.-MVE003	257
Figura No.97: Fotografía del equipo utilizado para la medición de concentración por el método polarimétrico.	280
Figura No. 98 Gráfica de comparación de resultados de polarimetría vs cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).	299
Figura No.99: Pérdidas de azúcar en bombas de licor rubio.	300
Figura No.100: Pérdidas de azúcar en bombas de magma.	300
Figura No.101: Pérdidas de azúcar en derrames y lavado de magma	301
Figura No.102: Pérdidas de azúcar en derrames dentro de refinería, transporte de azúcar a empacadora.	301
Figura No.103: Salida de tuberías 21, 22, 23 y 24 a canal de efluente principal de fábrica	302
Figura No.104: Bandejas instaladas en la parte baja de cada bomba de licor rubio hacia tanques de tratamiento.	302
Figura No. 105. Diagrama de entradas y salidas del medidor Parshall de Patio	315
Figura No. 106. Fuga en bomba de jugo de caña (B124)	315
Figura No. 107. Fugas en canal de molino	316
Figura No. 108. Fuga en tanque de jugo de caña	316
Figura No.109. Fuga entre molino 1 y 2	317
Figura No. 110. Antes y después de tubería agua de enfriamiento molino 1 y 2.	317
Figura No. 111. Barrera metálica colocada entre molino 1 y 2	318
Figura No. 112. Matajuntas en conductores	318
Figura No. 113. Tubería de agua de enfriamiento molino 4	319
Figura No. 114. Canal atrás de conductores de caña	319
Figura No.115. Conductores de caña	320
Figura No.116. Matajuntas y angulares en conductores	320
Figura No. 117. Intervalo de confianza elaborado en Geogebra para obtención de porcentaje de pérdida.	321
Figura No.118. Intervalo t de una media poblacional elaborado en Geogebra para la obtención de intervalo de pérdidas en Tándem B.	321
Figura No.119. Tipo de bombas en Tándem B	322
Figura No.120. Pérdidas de azúcar en efluente de medidor Parshall antes de realizar método de media móvil	323
Figura No.121 Diagrama caja y bigote para conductor de caña canal A	343
Figura No.122 Diagrama de caja y bigote para conductor de caña canal B	343
Figura No.123 Diagrama de caja y bigote para conductor de caña canal C	343
Figura No.124 Diagrama caja y bigote de bomba B32	344
Figura No.125 Diagrama de caja y bigote para bomba B33	344
Figura No.126 Diagrama de caja y bigote para bomba B34	344
Figura No.127 Diagrama de caja y bigote para punto de control A de Tándem de molinos	345
Figura No.128 Diagrama de caja y bigote para punto de control B de Tándem A de molinos.	345
Figura No.129 Diagrama de caja y bigote para punto de control C de Tándem A de molinos.	345
Figura No.130 Diagrama de caja y bigote para punto de control D de Tándem A de molinos.	346
Figura No.131 Diagrama de caja y bigote para punto de control E de Tándem A de molinos.	346
Figura No.132 Diagrama de caja y bigote para punto de control F de Tándem A de molinos	347
Figura No.133 Diagrama de caja y bigote para punto de control H de Tándem A de molinos	347
Figura No.134 Diagrama de caja y bigote para punto de control I de Tándem A de molinos	348

Figura No.135 Diagrama de caja y bigote para punto de control J de Tándem A de molinos	348
Figura No.136 Bombas de maceración	349
Figura No.137 Efluente de agua de enfriamiento para coronas de molinos	349
Figura No.138 Filtración de jugo mezclado proveniente de	350
Figura No.139 Filtraciones de jugo mezclado en bombas de maceración	350
Figura No.140 Filtración de jugo mezclado en separador de bagazo	351
Figura No.141 Bagazo filtrado en la parte inferior del Tándem	351
Figura No.142 Conductores de caña en patio de Tándem A	352
Figura No.143 Metodología utilizada anteriormente para lavado de tablillas	352
Figura No.144 Filtraciones de bagazo en alimentación a conductores de banda hacia calderas	353
Figura No.145 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.1.	361
Figura No.146 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.2.	361
Figura No.147 Diagrama Ishikawa elaborado para la propuesta No.3.	362
Figura No.148 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.4	362
Figura No.149 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.1.	363
Figura No.150 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.2.	363
Figura No.151 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.3.	364
Figura No.152 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.4.	364
Figura No.153 Sketch ventanilla movable (cuatro vistas)	365
Figura No.154 Sketch ventanilla movable vista de perspectiva	365
Figura No.155 Sketch matajuntas (cuatro vistas)	366
Figura No.156 Sketch Matajuntas vista de perspectiva	366
Figura No.157 Sketch camisas (cuatro vistas)	367
Figura No.158 Sketch camisa vista de perspectiva	367
Figura No.159 Sketch bandejas capturadoras (cuatro vistas)	368
Figura No.160 Sketch bandeja vista de perspectiva	368
Figura No.161 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.1	374
Figura No.162 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.2	375
Figura No.163 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.3	376
Figura No.164 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.1	377
Figura No.165 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.2	378
Figura No.166 Porcentaje de representación de costos de mano de obra para fabricación propuesta 3	379
Figura No.167 Porcentaje de representación de costo mano de obra para implementación propuesta No.3	379
Figura No.168 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.4	380
Figura No.169 Muestra de camisa	383
Figura No.170 Toma de medidas camisa	384
Figura No.171 Muestra bandeja capturados	384
Figura No.172 Bombas refinería	384
Figura No.173 Equipo Cush Cush	385
Figura No.174 Toma de mediciones Cush Cush	385
Figura No.175 Conductores de Caña	385
Figura No.176 Códigos de roles de matriz de responsabilidades	386
Figura No.177 Formato minuta reuniones de equipo de trabajo	386
Continuación Figura No.177 Formato minuta reuniones de equipo de trabajo	387

Figura No.178 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 1)	387
Continuación Figura No.178 Diagrama de Gantt del proyecto	388
Figura No.179 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 2)	388
Continuación Figura No.179 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 2)	389
Figura No.180 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 3)	389
Continuación Figura No.180 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 3)	390
Figura No.181 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 4)	390
Continuación Figura No.181 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 4)	391
Figura No.182 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 5)	391
Continuación Figura No.182 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 5)	392
Figura No.183 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 6)	392
Continuación Figura No.183 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 6)	393
Figura No.184 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 7)	393
Continuación Figura No.184 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 7)	394
Figura No.185 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 8)	394
Continuación Figura No.185 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 8)	395
Figura No.186 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 9)	395
Continuación Figura No.186 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 9)	396
Figura No.187 Plantilla propuesta para cálculo de implementaciones Similares a las analizadas en el trabajo (parte 1)	396
Figura No.188 Plantilla propuesta para cálculo de implementaciones Similares a las analizadas en el trabajo (parte 2)	397
Figura No.189 Plantilla propuesta para cálculo de implementaciones Similares a las analizadas en el trabajo (parte 3)	397
Figura No.190 Plantilla utilizada para la determinación de futuras implementaciones junto con la plantilla para la determinación de la pérdida de azúcar en términos económicos	422
Figura No.191 Matajuntas a colocarse en los conductores de caña	423
Figura No.192 Mapa del ingenio azucarero donde se encuentran identificadas las áreas de trabajo.	423
Figura No.193 Diagrama de bloques, vista general	424

Listado de ecuaciones

Ecuación	Página
Ecuación No. 1 Porcentaje de fibra en la caña1	8
Ecuación No. 2 Porcentaje de Pol en la caña2	8
Ecuación No. 3 Determinación de concentración por medio del HPLC	22
Ecuación No. 4 Cálculo del caudal en un canal Parshall	24
Ecuación No. 5 Conversión del rendimiento	54
Ecuación No. 6 Conversión a unidades internacionales	54
Ecuación No. 7 caudal	63
Ecuación No. 8: Caudal en tuberías	64
Ecuación No. 9 Porcentaje de pérdidas en Tándem	64
Ecuación No. 10: Promedio de resultados	69
Ecuación No. 11. Desviación estándar	69
Ecuación No. 12: Pérdidas de azúcar expresada en dólar estadounidense por telada de caña	76
Ecuación No.13: Pérdida de azúcar expresada en dólares estadounidenses	76
Ecuación No. 14: Pérdida de azúcar expresada en quetzales.	77
Ecuación No. 15: Porcentaje que representan las pérdidas de azúcar medidas por el equipo de trabajo de las que fueron reportadas por el ingenio en los días de muestro	77
Ecuación No. 16: Viabilidad de la implementación de las propuestas.	78
Ecuación No. 17 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del Brix, con una regresión ajustada de 29.21%	86
Ecuación No. 18 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del peso de torta húmeda, con una regresión ajustada de 27.03%	87
Ecuación No. 19 Ecuación obtenida para del análisis de Minitab para la corrección del Brix	231
Ecuación No. 20 Ecuación obtenida para del análisis de Minitab para la corrección del peso de torta húmeda	231
Ecuación No. 21 Porcentaje de fibra de caña	232
Ecuación No. 22 Porcentaje de Pol en la caña	232
Cálculo No. 23 Conversión de °Z a ppm para las muestras de efluentes de azúcar	247
Cálculo No. 24: “Determinación del porcentaje o masa de sacarosa de azúcar a partir de los resultados proporcionados por el HPLC”	249
Cálculo No. 25: “Determinación de ppm de azúcar a partir de los resultados proporcionados por el HPLC” $C \text{ (ppm)}=M(g)*10*(1000\text{mg sacarosa}) / (g \text{ muestra})$	249
Cálculo No. 26: “Determinación del gasto del efluente utilizando la ecuación para el canal de Parshall”	250
Cálculo No. 27: “Determinación del área del canal” $A(m^2) =a(m)*l(m)$	251
Cálculo No. 28: “Determinación del caudal” $Q(m^3/s) =V(m/s) *A(m^2)$	251
Cálculo No. 29: Determinación de concentración de sacarosa a partir de °Z	265
Cálculo No. 30: Determinación de concentración promedio por muestra de sacarosa a partir de °Z	265
Cálculo No. 31: Determinación de la incertidumbre para la concentración promedio por muestra de sacarosa	266

Cálculo No. 32: Cálculo de la masa determinada por el cromatógrafo de sacarosa	266
Cálculo No. 33: Determinación de la incertidumbre para la masa determinada de sacarosa	266
Cálculo No. 34: Cálculo del porcentaje de sacarosa contenido en la muestra	266
Cálculo No. 35: Conversión de porcentaje de sacarosa a partes por millón	267
Cálculo No. 36: Determinación de la incertidumbre para la masa determinada de sacarosa	267
Cálculo No. 37: Determinación de la diferencia entre la dimensión real y la de diseño del Parshall (tanto de patio como de fábrica)	267
Cálculo No. 38: Determinación del porcentaje de variación entre la dimensión real y la de diseño del Parshall con relación a la dimensión de diseño (tanto de patio como de fábrica)	267
Cálculo No. 39: Determinación del porcentaje de sumergencia en las mediciones del Parshall (tanto de patio como de fábrica)	268
Cálculo No. 40: Determinación de la incertidumbre para la sumergencia en los canales de Parshall (tanto en el de patio como el de fábrica)	268
Cálculo No. 41: Conversión de telada corta de molienda a telada métrica	268
Cálculo No. 42: Cálculo de pérdidas de azúcar en el Parshall (tanto de patio como de fábrica)	268
Cálculo No. 43: Cálculo de pérdidas de azúcar en el Parshall (tanto de patio como de fábrica)	269
Cálculo No. 44: Cálculo de caudal por el método de alturas y velocidades usando la metodología de ensayo ING.-MM004	269
Cálculo No. 45: Determinación de la incertidumbre para el caudal determinado por el método de alturas y velocidades usando la metodología de ensayo ING.-MM004	269
Cálculo No. 46: Prueba Q para el rechazo de datos en la validación del método de polarimetría y cromatografía líquida de alta resolución	269
Cálculo No. 47: Prueba Q para el rechazo de datos en la validación del método de canal de Parshall, analizando el porcentaje de sumergencia	270
Cálculo No. 48: “Conversión de °Z a ppm para las muestras de efluentes de azúcar”	290
Cálculo No. 49: “Cálculo de caudal para cada tubería en base al tiempo y volumen obtenido en la muestra original”	290
Cálculo No. 50: “Conversión de °Z de polarimetría a ppm (mg/L)”	290
Cálculo No. 51: “Corrección de concentración de sacarosa en PPM por método de HPLC”	291
Cálculo No. 52 “Cálculo de pérdida de masa de azúcar en base a la concentración y el caudal”	291
Cálculo No. 53 “Conversión de flujo másico en kg/h a lb/h”	291
Cálculo No. 54 “Obtención de libras de azúcar perdidas por telada de caña molida en un día específico.”	292
Cálculo No. 55 “Conversión de TC lb/t caña a Kg/t métrica.”	292
Cálculo No. 56 “Incertidumbre de los caudales obtenidos”	292
Cálculo No. 57 “Incertidumbre de PPM con corrección de HPLC”	293
Cálculo No. 58 “Incertidumbre del flujo másico obtenido en kg/h”	293
Cálculo No. 59 “Incertidumbre del flujo másico obtenido en lb/h”	293

Cálculo No. 60 “Incertidumbre de libras de azúcar pérdida por telada de caña molida en un día específico”	294
Cálculo No. 61 “Incertidumbre de kilogramos de azúcar perdidos por telada métrica de caña molida”	294
Cálculo No. 62. Cálculo de área de punto A de análisis	310
Cálculo No. 63. Cálculo de velocidad	310
Cálculo No. 64. Cálculo del caudal puntos A, B y C Según ecuación 1:	310
Cálculo No. 65. Cálculo de caudal en tuberías de agua de enfriamiento Según ecuación 2:	311
Cálculo No. 66. Cálculo de flujo másico de sacarosa	311
Cálculo No. 67. Conversión a kilogramos/hora	311
Cálculo No. 68 Cálculo de pérdida de azúcar kg/t caña	311
Cálculo No. 69. Cálculo de pérdida total de Tándem B	311
Cálculo No. 70. Cálculo de porcentaje de pérdida según reportado en efluente Parshall Según la ecuación 3:	312
Cálculo No. 71. Cálculo de propagación de error Cálculo de desviación estándar:	312
Cálculo No. 72 “Velocidad de flujo en canales”	333
Cálculo No. 73 “Área de canal”	333
Cálculo No. 74 “Caudal de canal”	333
Cálculo No. 75 “Conversión de caudal a L/s”	334
Cálculo No. 76 “Cálculo de PPM a partir de Pol con ajuste de HPLC”	334
Cálculo No. 77 “Cálculo de la masa de azúcar pérdida en el tiempo”	334
Cálculo No. 78 “Conversión a lb/tonelada de caña molida por ingenio”	335
Cálculo No. 79 “Cálculo para el caudal de bombas”	335
Cálculo No. 80 “Incertidumbre de la velocidad”	335
Cálculo No. 81 “Incertidumbre de área transversal”	336
Cálculo No. 82 “Incertidumbre de caudal”	336
Cálculo No. 83: “Incertidumbre de conversión a l/s”	336
Cálculo No 84. “Incertidumbre de masa de azúcar pérdida en el tiempo”	337
Cálculo No. 85 “Incertidumbre de conversión a lb de azúcar por tonelada de caña molida”	337
Cálculo No 86. “Incertidumbre de conversión a kg de azúcar por tonelada métrica de caña molida”	338
Cálculo No. 87 “Incertidumbre de PPM con corrección de HPLC”	338

RESUMEN

Los ingenios azucareros, más que muchas otras industrias, dependen de la eficiencia de sus procesos, en donde se busca obtener la mayor cantidad de azúcar por tonelada métrica de caña molida. El objetivo de este proyecto fue determinar y cuantificar las pérdidas de azúcar por arrastre, en los procesos industriales de un ingenio azucarero y validar los métodos de laboratorio, para realizar propuestas de mejora basadas en un análisis de costeo y económico. Para esto, al principio se llevó a cabo la validación de metodologías de muestreo y métodos de análisis, de los procedimientos utilizados por el ingenio para determinar las pérdidas de sacarosa. Posteriormente se realizó un análisis de los efluentes del ingenio, los equipos críticos como los molinos, evaporadores, cristalizadores, entre otros, para determinar el origen de estas pérdidas y cuantificarlas. Una vez cuantificadas las pérdidas, se determinó la pérdida económica que estas generan, para compararlo contra la inversión requerida por las propuestas de mejora, para su implementación.

Se validaron los métodos de análisis de polarimetría, canales de Parshall, y cromatografía líquida de alta resolución y los métodos de muestreo de caudal, sacarosa y caña de azúcar. En cuanto a las pérdidas de sacarosa, se encontró que las pérdidas en los tandems de molinos representan el 58.1% en el tandem A y el 21.75% en el tandem B de las pérdidas totales del ingenio azucarero. Por otro lado, se lograron identificar 49 tuberías, en donde se determinaron pérdidas de las cuales la más significativa se encontró en la refinería, siendo un total de $1.7E-04$ kilogramos de azúcar por tonelada de caña, con una incertidumbre de $6.2E-06$. Las propuestas de mejora tienen un valor total de inversión de Q 32,061.64, que se resumen en arreglos de bombas, tuberías, estopas y otros equipos mencionados en el presente trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

La industria azucarera en Guatemala es posiblemente la más grande y tecnificada del país. El cultivo de caña de azúcar y su proceso, no solo genera valor a través de la recuperación de sacarosa, sino también de la cogeneración eléctrica de cada uno de los ingenios azucareros, la producción de mieles vírgenes o melazas y la producción de bioetanol. Esta industria comienza en 1936 con la recuperación de sacarosa en el valle de la ciudad de Guatemala. Para 1960, ya con la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) formada, la industria tiene una capacidad de producción de 68,000 toneladas métricas de azúcar (CENGICAÑA. 2014). Hoy en día, Guatemala es el segundo mayor exportador de azúcar para Latinoamérica y el cuarto a nivel mundial, con un promedio de producción de la zafra 2016 – 2017 de 60 millones de quintales de azúcar. Estas exportaciones representan el 9.3% del total del país. (ASAZGUA. 2018)

El proceso de la producción de azúcar se basa primordialmente en el índice de productividad. Los ingenios azucareros y la industria buscan que la razón entre toneladas de producción de azúcar y hectáreas utilizadas sea mayor, lo cual indica una mayor eficiencia del cultivo y de su proceso en un menor espacio de cultivo. Esto se mide comúnmente en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y es así como los productores pueden determinar qué tan eficiente está siendo su proceso. Actualmente Guatemala cuenta con un índice de productividad de 12.26 TAH, según los valores registrados de la zafra pasada 2016 - 2017. (ASAZGUA. 2018) Para esto, se controla de manera exhaustiva y minuciosa el proceso, tanto la parte agrícola como la parte industrial.

Para conseguir una mayor productividad, los ingenios azucareros contabilizan sus pérdidas y están en una constante búsqueda de acciones para eliminarlas. Las pérdidas en un ingenio pueden ser muchas, sin embargo, las dividiremos en dos categorías para este trabajo; las pérdidas determinadas y las indeterminadas. Las determinadas son aquellas pérdidas en las que está contabilizado la cantidad de sacarosa no recuperada y está identificado el punto en donde se da la pérdida, pero, la toma de acción para reducirlas consiste en una mejora de la tecnología en el proceso para eliminar factores del tipo

microbiano, de temperatura o de pH, que impiden se pueda recuperar más sacarosa. Por otro lado, están las pérdidas indeterminadas, las cuales son aquellas pérdidas de las cuales se conoce su existencia, sin embargo, no su origen ni la razón por la que éstas se están generando. Estas pérdidas indeterminadas son por lo general fugas, fallos en equipos, problemas en tuberías, errores en los métodos analíticos, etc.

Este trabajo plantea la identificación de pérdidas indeterminadas por retroceso a partir de los principales efluentes del ingenio, los cuales se obtienen en los medidores Parshall. Se determinan qué salidas de agua alimentan al efluente principal y se realizan mediciones de concentración y caudal para encontrar aquellas pérdidas más significativas. Finalmente se plantearán recomendaciones viables que ayuden a disminuirlas.

Los métodos de medición de concentración de azúcar y de caudal serán validados previamente para contar con la certeza del método y de los resultados que se pueden llegar a obtener.

También se tiene contemplado el hacer un análisis económico y de viabilidad, con el fin de determinar un ahorro en las propuestas que fueron generadas dentro de la fábrica, relacionadas con las pérdidas de azúcar en un ingenio azucarero producidas durante la zafra. Además, de realizar un análisis de costos que proporcione el detalle de todos los recursos necesarios y sus respectivos costos para poder llevar a cabo la implementación de las propuestas para la reducción de pérdidas de azúcar.

Adicionalmente, se proponen mejoras al proceso de toma de muestras en jaulas de caña de corte mecanizado a través de la determinación de variables críticas, en el laboratorio de caña de un ingenio azucarero.

II. OBJETIVOS

A. General

1. Determinar y cuantificar las pérdidas de azúcar por arrastre, en los procesos industriales de un ingenio azucarero y validar los métodos de laboratorio, para realizar propuestas de mejora basadas en un análisis de costeo y económico

B. Específicos

1. Proponer mejoras al proceso de toma de muestras en jaulas de caña de corte mecanizado a través de la determinación de variables críticas, en el laboratorio de caña de un ingenio azucarero.

2. Validar los métodos para determinación de concentración de sacarosa (polarimetría) y determinación de caudales (Canales Parshall y sondas electrónicas) comparando con otros equipos, realizando curvas de calibración, determinación de la desviación media absoluta (MAD), para establecer la precisión del método utilizado para la determinación de pérdidas de azúcar en efluentes de agua del ingenio.

3. Determinación y cuantificación de las pérdidas de azúcar presentes en el Tándem A de molinos y conductores en el patio de caña, utilizando el método de polarimetría y medición de caudales; para establecer el aporte de este Tándem a las pérdidas totales presentes en el canal parshall de patio.

4. Determinar las pérdidas de azúcar, por arrastre, en Tándem B de molinos, midiendo flujos de agua y porcentaje de azúcar con polarimetría para proponer una reducción en las mismas durante el periodo de zafra 2017-2018.

5. Identificar los puntos de pérdidas indeterminadas de sacarosa en los efluentes de fábrica de un ingenio azucarero, ubicando cada salida de agua que alimente el efluente principal del ingenio y midiendo la concentración y caudal de cada una de estas salidas, para proponer soluciones que disminuyan las pérdidas encontradas.

6. Realizar un análisis de rentabilidad y de costo beneficio usando en un horizonte de tiempo de un año, que proporcione al ingenio una serie de propuestas para generar un ahorro de azúcar y por ende, económico, en los puntos identificados dentro de la fábrica, relacionados con las pérdidas de azúcar producidas en la zafra 2017-2018.

7. Realizar un análisis de costos que abarque y proporcione información sobre todos los costos que incurren los recursos necesarios para poder llevar a cabo la implementación de las propuestas para la reducción de pérdidas de azúcar dentro de la fábrica en los procesos industriales.

III. JUSTIFICACIÓN

Uno de los temas con más relevancia en un ingenio azucarero son las pérdidas de azúcar que se producen dentro de la fábrica de este. Dichas pérdidas ocurren gracias a varias razones tales como; la deficiencia en la maquinaria, un mal manejo de procesos o incluso un mal manejo de las muestras que son analizadas. Estas pérdidas, se ven reflejadas tanto en azúcar que se pierde a lo largo del proceso de recuperación, como en dinero que es perdido por toda aquella que no logra ser recuperada y generar, un ingreso económico para el ingenio.

Es por esto por lo que, el objetivo de este trabajo es determinar el impacto negativo que tuvo para el ingenio azucarero las pérdidas de azúcar en la fábrica en la zafra 17-18, determinadas por medio estudios económicos generados en la zafra. Así mismo establecer en qué les beneficiarían para las siguientes zafras; y los ahorros que se pueden producir en las pérdidas de azúcar, al implementar las distintas propuestas generadas por el grupo de trabajo del megaproyecto, así como la adquisición de nuevo equipo propuesto y mejoras en las prácticas por parte del personal del ingenio

IV. MARCO TEÓRICO

A. Composición de la caña de azúcar

1. Composición vegetativa.

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño cultivada en países tropicales y subtropicales. Su origen es una mezcla compleja entre varias especies, derivadas del *Saccharum officinarum* y otra especie de *Saccharum*. Presenta una forma característica debido a sus tallos delgados, de mediana altura, hojas angostas, entre nudos largo y recto, con altos contenidos de fibra y sacarosa, siendo este último el material principal para la elaboración y fabricación de azúcar (CENGICAÑA, 2016).

Cuando la caña de azúcar llega a su madurez, su composición vegetativa es aproximadamente un 72% tallos limpios; 7% por mamonos, 12% cogollo y 9% de hojas y otros. En la extracción y recuperación del azúcar, el material más importante son los tallos limpios, pero en general los componentes que se encuentran son sacarosa, agua, cachaza, miel y bagazo (Ruiz, 1995).

2. Composición química.

Una forma más general de describir la composición de la caña es en jugo y fibra. La fibra es la parte insoluble en agua, conformada en su mayoría por celulosa que, a su vez, se encuentra compuesta por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa). El jugo de caña se encuentra relacionado con el procesamiento de la caña y la recuperación de sacarosa en los ingenios azucareros; en este sentido, se reconoce que existen algunos componentes presentes en la caña de azúcar que afectan y reducen la extracción de la sacarosa. (Larraondo, 1995).

El jugo de la caña de azúcar está compuesto por agua y por los sólidos solubles (sacarosa y otros constituyentes) cuyo contenido se mide por el Brix (Cantidad de sólidos disueltos). El contenido aparente de sacarosa, más conocida como azúcar comercial, es expresado como un porcentaje del jugo, determinado mediante un método polarimétrico, se denomina porcentaje de pol (Pol% jugo). La razón porcentual entre el Pol y el Brix del jugo se conoce como el porcentaje de pureza del jugo (Pureza%). De igual forma, en el jugo de caña, existen otros compuestos solubles orgánicos e inorgánicos, como ácidos orgánicos, nutrientes minerales, azúcares reductores, oligosacáridos, polisacáridos, colorantes, proteínas y otros, diferentes de la sacarosa, que se denominan usualmente “No-Pol” o “No-sacarosa”, los cuales resultan de la diferencia entre el Brix y el Pol (Larraondo, 1995).

Los porcentajes de “No-Pol” en la caña de azúcar se ven influenciadas por la falta de maduración o diversos factores de deterioro (quema, estacionamiento, microorganismos, entre otros), que afectan en distintas etapas del proceso de recuperación del azúcar (Romero, 2009).

Cuadro No.1 Composición porcentual de la caña de azúcar madura

Componente	Porcentaje (%)
Jugo de caña	85-90
Agua	65-75
Sólidos Solubles (Bix)	15-22
Sacarosa (Pol % jugo)	11-18
Sustancias (No-Pol % jugo)	1-4
Fibra	10-15

B. Corte de la caña de azúcar

1. Sistema manual.

Es un sistema donde el corte y carga se procesan manualmente. Puede haber subsistemas de transporte o carga intermedios, por tracción animal o trasbordo con dispositivos específicos. A pesar de ser un sistema aparentemente arcaico, se emplea altamente en algunos sectores a nivel mundial y donde los cultivos de caña de azúcar se plantan en topografías con pendientes mayores a 25°.

2. Sistema semimecanizado.

En este sistema se ve involucrado un subsistema de corte manual y un subsistema de carga, en las unidades de transporte, que es manejado por cargadores mecánicos. Es el sistema más ampliamente utilizado en todas las regiones de cultivos de caña en Guatemala, donde la pendiente del terreno no supere el 20-25°.

3. Sistema mecanizado.

Es un sistema que emplea un subsistema mecanizado con cortadores de varios tipos, con cosechadoras de tallos enteros de caña de azúcar y con subsistemas de carga mecánica, o incluso con un subsistema compuesto de cosechadoras (que cortan, seccionan y limpian parcialmente la materia prima y la cargan en las unidades de transporte). La utilización de este sistema es factible en sectores donde la pendiente no supera los 17°, debido al riesgo de sufrir accidentes de volteo con los equipos (Cannavam & Cunali, 2015).

C. Muestreo y control de calidad de caña de azúcar.

Para mejorar el rendimiento de extracción de azúcar se debe implementar sistemas de medición de calidad precisos y transparentes. Por lo tanto, el control de calidad de la caña de azúcar es vital para el desarrollo de un ingenio azucarero, actualmente se hace referencia al concepto de Azúcar Recuperado, al cual se le debe dar mucha importancia. Este concepto puede controlarse por dos medios distintos: el Método Indirecto, que toma en cuenta los valores de Pol% y pureza en el jugo de primera presión en el Tándem de molinos, y por el otro lado, el Método Directo que se deben realizar muestreos y análisis de la caña y del jugo, considerando el porcentaje de fibra (Fibra% caña) (Romero, 2009).

1-. Método directo.

Este método presenta la característica de evaluación de la calidad productiva en una muestra de caña previo a la molienda. El hecho que se tome en cuenta la cantidad de fibra en la caña, es decir sólidos no disueltos en el jugo, lo señala como un método más confiable cuando se utilizan sistemas semi-mecanizados o mecanizados, donde se incorporan mayores agentes extraños. Pero también presenta una desventaja, debido al pequeño volumen de muestra que se obtiene de las jaulas de caña, comparada con el volumen de caña de azúcar que ingresa en cada uno de los envíos. Este método de análisis se describe en los siguientes tres pasos:

a. Recepción de caña.

El control de calidad en la recepción del ingenio debe cumplir ciertas características de calidad, tales como: frescura, madurez, limpieza, enfermedades, plagas, etc. Las cuales deben de ser controladas de forma visual a la hora de la entrega de materia prima. Durante esta sección, también es necesario controlar cuanta caña de azúcar ingresa al proceso, por lo que se requiere determinar el peso total de la materia prima (Chen, 2000).

b. Toma y preparación de la muestra.

La muestra de caña a analizar se extrae mediante una sonda. La que mayor aprobación alcanzó en la industria cañera es el muestreador conocido como “Core Sampler”. Esta sonda penetra en el cargamento de materia prima en forma horizontal u oblicua (45°), en función del diámetro de la sonda se extraen muestras de 12 kg (sonda de 20.3 cm de diámetro) o de 6 kg (sonda de 15.2 cm). La muestra extraída es desfibrada y separada una submuestra de 1 kg para realizar la extracción del jugo por medio de una prensa. El equipo de desfibrado es un molino de martillos, que permite un 90% de células abiertas, para una buena extracción del jugo por el método de prensado.

Previamente al prensado, es necesario una homogenización de toda la caña de azúcar desfibrada, para asegurar una mejor extracción del jugo. En el prensado se obtienen dos productos: el jugo de caña para determinar los grados Brix y el porcentaje de pol (Pol%C), y un residuo sólido con el cual se puede determinar la cantidad de fibra en la caña (Fibra% caña) (Romero, 2009).

c. Determinaciones analíticas.

Entre los principales análisis para el método directo son los que se mencionan previamente, °Brix, Porcentaje de Pol en la caña (Pol%C) y el porcentaje de Fibra en la caña (Fibra%C).

Para el análisis de jugo extraído en el proceso de prensado, se toma una alícuota de la muestra y se realiza un análisis en un refractómetro en condiciones controladas (Temperatura entre los 22 a 25°C), para un 0.05°brix. En el análisis se requiere determinar el Pol en el jugo, para ello hay que realizar un ligero tratamiento con un agente para clarificarlo. El principal agente utilizado es el Octapol, al cual hay que realizar una activación con agitación mecánica en un equipo que gire en un rango de 30 a 60 rpm para tener un mayor contacto entre el agente y el jugo, lo que reduce el tiempo de contacto e inhibe la formación de grumos. Posterior se requiere de un filtrado para separar todos los sólidos contenidos en el octapol y únicamente

recuperar una muestra de jugo ya clarificado. Por último, se emplea un polarímetro de tubo continuo para obtener la lectura de pol en la muestra (CENGICANA, 2016).

Ecuación No. 1 porcentaje de fibra en la caña¹

$$F\%C = \frac{100 * (P_{bs} - B_{je} * P_{bh})}{5 * (100 - B_{je})}$$

Donde:

$F\%C$ es el porcentaje de fibra en la muestra de caña
 P_{bs} es el peso de la torta de bagazo seco (g)
 B_{je} es el Brix del jugo extraído
 P_{bh} es Peso de la torta de bagazo húmedo (g)

Ecuación No. 2 porcentaje de Pol en la caña²

$$Pol\%C = (Pol\ Jugo\ extraído) * [1 - 0.01(F\%C)] * [1.0313 - 0.00575(F\%C)]$$

Donde:

$Pol\%C$ es el porcentaje de Pol en la muestra de caña
 $F\%C$ es el porcentaje de fibra en la muestra de caña
 $Pol\ Jugo\ extraído$ es el resultado de la polarimetría

D. Correlaciones

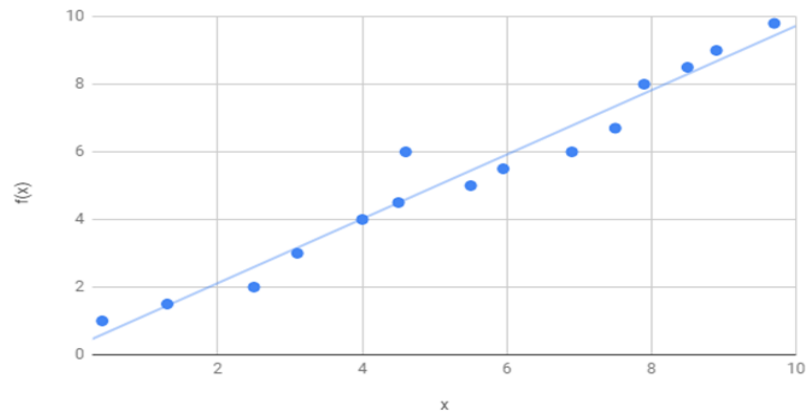
1. Regresión.

Conociendo una variable estadística bidimensional (X,Y), representada por su serie de puntos (xi, yi) en un plano, permite identificar la presencia o ausencia de una regresión. El objetivo de ajustar una regresión a una serie de datos es determinar una función [y=f(x)], que al graficarla, se acerque a todos o a la mayor cantidad de puntos en dicha serie. De esta forma es posible proporcionar cierta relación entre las variables “X” y “Y”, con el fin de que, si se conoce el valor de alguna de las variables, se pueda aproximar al valor de la otra variable (Vargas, 1995).

¹ Modelo matemático del análisis de humedad por medio de Horno según el método de la guía para la determinación de %Pol en caña de COSECANA, Brasil.

² Ecuación generada por el ingenio a partir de sus resultados de zafra 2015-2016, a partir del método del Pol%C de la guía para la determinación de %Pol en caña de COSECANA, Brasil.

Figura No.1 Ejemplo de ajuste de curva a partir de un conjunto de puntos dados.



Fuente: Vargas, 1995.

La relación aleatoria que existe entre dos variables, puede que se deba a alguna causa en específico, pero entre las posibilidades, es que esta sea completamente al azar. Es por ello por lo que, al hablar de regresión, se menciona sobre las variables dependientes e independientes; pero no se está afirmando que realmente exista una dependencia causal entre las mismas.

2. Correlación.

Se puede definir como un estudio del grado de dependencia que existe entre dos o más variables. Para poder determinar el grado de dependencia, es necesario definir coeficientes de correlación. Un caso en particular, donde todos los valores de la serie de datos se acoplen o pertenezcan a la curva de regresión, se le conoce como correlación perfecta. Lo más común es que no se logre obtener una correlación perfecta, es decir que cada par de valores de la variable sólo satisface la ecuación de la curva de regresión de forma aproximada (Vargas, 1995).

E. Factor P

Al realizar una prueba de hipótesis, se debe definir un factor p o “valor-p” que permite determinar cuán importante son los resultados. Estas pruebas se efectúan para la validación de una afirmación sobre una población, dicha afirmación se le conoce como hipótesis nula. De igual forma, se plantea una hipótesis alternativa que representa un valor diferente al valor hipotético de la hipótesis nula. Es decir que la hipótesis alternativa es lo que se espera comprobar que es cierto.

Todas las pruebas de hipótesis emplean el valor p para sopesar el peso de la evidencia (que es lo que los datos dicen sobre la población). El valor p se reduce a un número entre 0 y 1 que se puede interpretar de dos formas: Un valor de p pequeño (comúnmente menor a 0.05) que indica una alta evidencia para rechazar la

hipótesis nula; y un valor de p grande (superior a 0.05) que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula (MINITAB, 2017).

F. Análisis factorial

Tipo de diseño experimental en el cual existe más de una variable independiente, el cual tiene como objetivo reducir el número o cantidad de datos para determinar semejanza de grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto con numerosa cantidad de variables. En otras palabras, el análisis busca la cantidad mínima de dimensiones capaces de generar información y explicar la mayor cantidad de información.

Cada variable recibe el nombre de factor, y a diferencia de otros análisis estadísticos, todos los factores del análisis cumplen con el mismo papel: todas las variables son independientes. En cada ensayo o réplica, de este diseño experimental, se investiga la interacción de todas y cada una de las posibles combinaciones de los niveles de los factores. Por lo mismo, es un método empleado para encontrar y determinar un modelo que describa el comportamiento general del fenómeno que se estudia. Al igual que permite optimizar la respuesta o variable dependiente; es decir, generar la combinación de niveles que mejoran la variable dependiente (Fernández, 2011).

1. Diagrama de Pareto.

Es una representación gráfica de los valores absolutos de cada efecto estandarizado, desde el de mayor efecto hasta el menor. Dichos efectos son estadísticos t que prueban la hipótesis nula, donde el efecto es igual a cero. En el diagrama también presenta la línea de referencia que indica cuales efectos son estadísticamente significativos (MINITAB, 2017).

G. Rangos

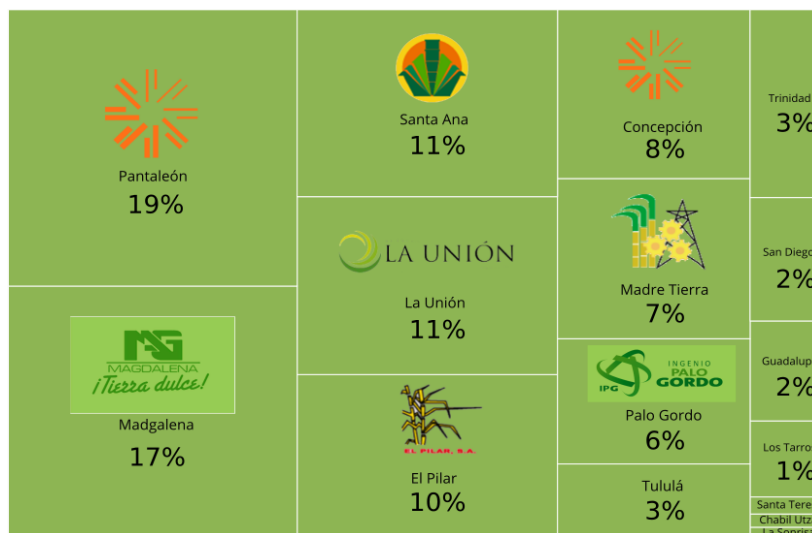
Se le denomina rango de una variable estadística a la diferencia entre el mayor y el menor valor de dicha variable. Si los valores de la variable están agrupados en intervalos definirse como rango, a la diferencia entre la mayor y menor marca de clase. Este permite obtener una idea de la dispersión de los datos, ya que, cuanto menor sea el rango de una variable estadística, menor dispersión presenta la variable, y por lo consiguiente mayor será la representatividad de los valores centrales.

Otra observación sobre el rango, y a su vez una ventaja, es su sencillez de cálculo y facilidad en el manejo de datos. Su mayor desventaja es que solo dependen de los valores extremos de la variable, sin tener en cuenta los valores que contenidos en el intermedio (Benjumea Acevedo, Fernández Ternero, Márquez García, Núñez Valdés, & Vilches Alarcón, 2006).

H. Industria Azucarera en Guatemala.

El cultivo y el procesamiento de caña en Guatemala empieza en el siglo XVI con la utilización de trapiches en varias zonas del país. Posteriormente a esto, se tiene registro que en 1591 se constituyó el primer ingenio, operando en forma artesanal. La industria azucarera creció de manera impresionante en el país y para el siglo XX ya existían varios ingenios, asociaciones y entes de investigación que apoyaban al desarrollo agroindustrial del azúcar en Guatemala. (ASAZGUA. 2018)

Figura No.2 Distribución de la industria azucarera en Guatemala



Fuente: CENGICAÑA. 2015

En cuanto a eficiencia se refiere, los ingenios azucareros tienen por objetivo el aumentar la razón entre teladas métricas de producción de azúcar y hectáreas utilizadas (TAH). Actualmente, Guatemala cuenta con un índice de productividad de 12.26 TAH, según los valores registrados de la zafra pasada 2016 - 2017. (ASAZGUA. 2018)

El cultivo de la azúcar ayudó a introducir el uso de nuevas tecnologías en los siglos previamente mencionados, ya que, para la óptima producción de esta, se precisaban instalaciones de varios tipos. Por un lado, la infraestructura de comunicación y transporte necesaria para sacar el producto de todos los centros de distribución y consumo, segundo, se necesitaba maquinaria para que fuera más fácil el corte de la caña, aunque, este tipo de tecnología fuera introducido posteriormente. (Robles, 2012).

El 17 de septiembre de 1957 fue creada la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), la cual es una entidad que se constituyó como piedra angular del desarrollo de la Agroindustria Azucarera en Guatemala.

El hecho de ser competitivos a nivel global ha sido un tema que ha puesto a Guatemala en el mapa de la producción, sin embargo, tal y como menciona la ASAZGUA, ha sido un largo camino con requerimientos de visión y transformación. (ASAZGUA, 2008).

En la actualidad, la agroindustria azucarera se ha convertido en una de las principales fuentes de divisas para el país y generadora de una gran abundancia de empleos para los guatemaltecos en sus distintas áreas.

Los ingenios de Guatemala y las organizaciones generales contribuyen decisivamente al desarrollo de la mayoría de los municipios del país, por lo que se puede mencionar que es un factor determinante para el progreso de Guatemala. (Robles, 2012)

La Agroindustria Guatemalteca está constituida generalmente por 17 ingenios activos, ubicados en la costa del Océano Pacífico en el sur del país. Finalmente, cabe mencionar que la industria del azúcar en Guatemala ha tomado más importancia debido a que en cosechas recientes se han alcanzado niveles de producción más amplios llegando a un récord. Año con año las proporciones que se exportan han ido aumentando llegando al punto de obtener el resultado de que más del 70% de azúcar producida es exportada y solamente el 30% de esta es consumida a nivel nacional. (Robles, 2012)

I. Proceso de producción del azúcar

1. Cosecha y transporte.

La caña de azúcar puede ser cosechada de forma manual o mecanizada. En el mundo, 80% de la caña de azúcar se cosecha de forma manual. La cosecha manual se realiza principalmente por el bajo costo que esta representa, en comparación contra la inversión de la cosecha mecanizada. En otros casos, no se realiza una cosecha mecanizada porque la topografía de un terreno no es la adecuada. (Rein, Peter. 2012)

Luego de su cosecha y recolección, ya sea un corte manual o mecanizado, la caña se moviliza en jaulas que transportan el producto desde el terreno o finca hasta la fábrica del ingenio. En Guatemala, los ingenios azucareros cuentan con una red de carreteras privadas para movilizar Tándems hasta de cinco jaulas, aproximadamente 60 teladas métricas de caña por jaula, y hacer más eficiente el transporte de la caña. (Ingenio azucarero en estudio. Zafra 2017 – 2018)

2. Preparación de la caña.

Consiste en la limpieza y acondicionamiento para la molienda. En esta etapa se utiliza equipos conocidos como “mesas de lavado”, en donde con agua se retiran raíces, hojas, tierra o piedras que posea la caña. Posteriormente, se utiliza un equipo que corta los tallos y se obtiene un tamaño de partícula adecuado para la molienda y romper las células portadoras de sacarosa de esta. Estos equipos pueden ser picadoras (que utilizan cuchillas) o desfibradoras (que usan martillos basculantes y un rotor), donde las más eficientes son las desfibradoras, por su capacidad de división y rompimiento de la caña, dejándola lista para la extracción. (P, Rein. 2012)

3. Molienda.

En la molienda se extrae la mayor cantidad de sacarosa y se obtiene el jugo de la caña, por la separación de este de las fibras, conocidas como bagazo. Se utilizan Tándems o grupos de molinos, entre cinco y seis equipos, para poder extraer la mayor cantidad de jugo. Para garantizar una mejor extracción, se

utiliza agua caliente, conocida como agua de imbibición en arreglos que pueden ir desde el tratamiento en el último molino hasta el segundo, haciendo así que se dé una mejor extracción del jugo crudo de caña. El jugo del primer molino se conoce como jugo cristal ya que se hace por presión seca y no estará diluido. (Rein, Peter. 2012)

4. Clarificación.

La clarificación consiste en la separación de los sólidos insolubles y otros contaminantes del jugo crudo de caña. Para esto se utiliza cal y algunos floculantes, con el fin de que se formen flóculos en el jugo y pueda separarse posteriormente estos lodos con los sólidos no deseados. El jugo clarificado tiene las mejores condiciones de pH, turbidez y color para la cristalización del azúcar. Muchas industrias modernas utilizan clarificadores rápidos de una bandeja, los cuales consisten en un paso directo del jugo usando canaletas. (Rein, Peter. 2012)

5. Filtración.

Luego de que se clarifica el jugo y se separa de los lodos, estos se pasan por filtros que retiran al máximo el jugo clarificado para que el proceso no genere tantas pérdidas. Los filtros antiguamente eran rotativos, sin embargo, utilizaban una gran cantidad de energía y requerían mucho espacio. Actualmente se utilizan filtros de bandas, los cuales son más pequeños y altamente eficientes para la extracción del jugo de los lodos, también conocidos como cachaza. La cachaza pasa a una preparación y es utilizada como compost. (Rein, Peter. 2012)

6. Evaporación.

El jugo clarificado pasa posteriormente a los evaporadores. Estos concentran el jugo hasta 65% o 68% de azúcar, debido que a una concentración de 72%, el jugo ya está en condiciones para empezar la cristalización. Los evaporadores más utilizados en la industria son los de tipo calandria, con tubos de 1 a 3 m de largo y están colocados en serie. Esta etapa es crucial en el proceso, debido a que la economía y productividad de este dependen del arreglo de los evaporadores. Estos se ordenan de forma tal que mientras va pasando el jugo clarificado de evaporador en evaporador, la calidad del vapor disminuye mientras que la presión dentro del vaso (evaporador) aumenta, aumentando la eficiencia del proceso. En Guatemala, los evaporadores trabajan de forma paralela entre el flujo del vapor y el jugo, debido a que esto evita la degradación de la sacarosa y mejora la tasa de transferencia de calor. (Rein, Peter. 2012)

7. Cristalización.

En este punto, el jugo clarificado ya llegó a una concentración del 80% (masa/masa), donde son propicias las condiciones para la cristalización del azúcar. Esto se hace saturando la solución con dos partes de azúcar por cada parte de agua (relación 2:1) en los tachos de cristalización.

Los tachos son equipos utilizados para cristalizar la masa cocida (massecuite) del azúcar y normalmente tienen arreglos de tres tachos, donde se obtiene la miel final y la masa cocida.

8. Centrifugación.

Se utiliza este proceso debido a que la densidad del licor o miel final y de los cristales obtenidos es muy parecida, por lo que se apoya el proceso en la alta viscosidad de la miel final. Los cristales recuperados tienen un tamaño que varía en un rango de 0.1 a 1 mm y se retienen utilizando mallas metálicas en las centrifugas. Estos equipos trabajan a una velocidad de 100 m/s, velocidad necesaria para separar los cristales de la miel final. Sin embargo, tienen un inconveniente que la industria ha resuelto, y es evitar un choque mayor a 10 m/s en la salida de la centrifuga, utilizando placas inclinadas a modo que el choque en la salida sea leve y su descarga continúe de manera natural. (Rein, Peter. 2012)

9. Secado.

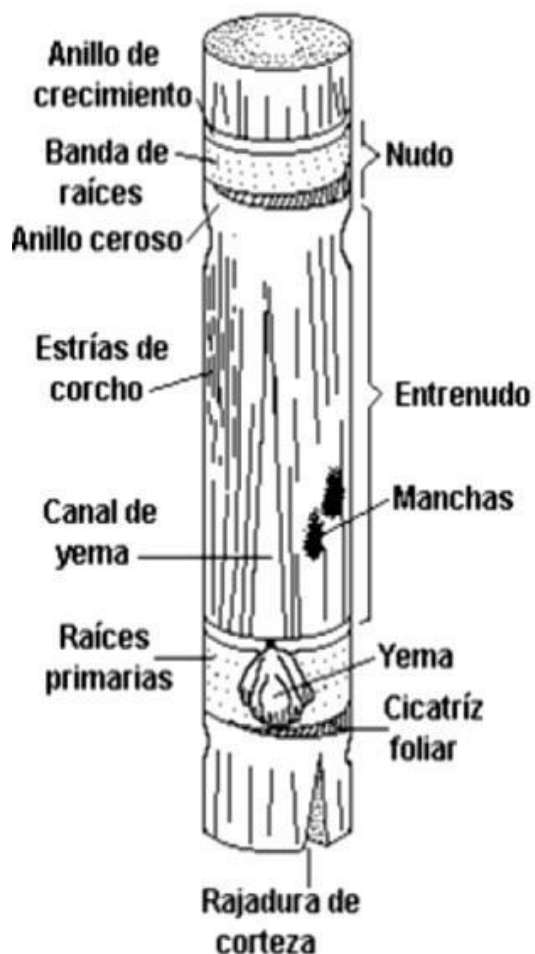
Se utilizan secadores rotatorios para reducir el contenido de humedad del azúcar. La humedad se reduce para eliminar problemas de contaminación y de formación de microorganismos al momento de su almacenamiento, ya que la mayoría del producto terminado de los ingenios es azúcar crudo que se vende a granel. Posteriormente a esto el azúcar se almacena en bodegas y se vende a granel o en sacos de una telada, siempre y cuando esta no sea azúcar refinada. (Rein, Peter. 2012)

J. Caña de azúcar

Esta planta de tipo herbácea, perteneciente al género *Saccharum*, es una de las más cultivadas a nivel mundial en los países tropicales. Su cultivo industrial se viene realizando desde el año 700 y la mayoría de las especies de esta provienen de la región africana donde hoy es Nueva Guinea. La caña de azúcar se ha expandido por el mundo a la mayoría de las regiones como Asia, Norte, Centro y Sur América. Esta planta crece a partir de la plantación de trozos de su tallo y se propaga con las yemas que crecen en los nudos de cada tallo.

La caña está compuesta de nudos y entrenudos, como un tallo normal. Cuenta con canales que proporcionan los nutrientes a la planta de manera rápida por estas vías y una corteza fuerte para la protección del azúcar que se encuentra en las células tipo parénquima. Estas células van aumentando en su concentración a medida que se va acercando al centro del tallo. A continuación, se observa una figura de la estructura interna de la caña. (Rein, Peter. 2012).

Figura No.3 Estructura interna de la caña de azúcar.



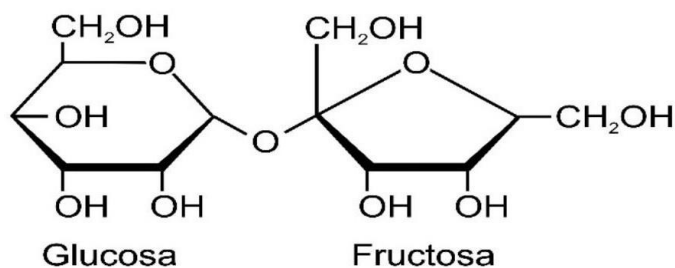
Fuente: Rein, Peter. 2012

1. Sacarosa.

La sacarosa es el disacárido conocido comúnmente como azúcar alrededor del mundo. Este disacárido está compuesto por los monosacáridos Alfa-glucopiranososa y beta-fructofuranosa. Su fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$ y tiene un peso molecular de 342.29 g/mol. Es el edulcorante más consumido a nivel mundial, encontrándose en la caña de azúcar y la remolacha azucarera, a nivel vegetal en concentraciones de 20% y 15% (masa/masa) respectivamente. (Sánchez y Bárcena. 2007).

Este compuesto es muy soluble en agua y su solución se satura entre 68% y 69% (masa/masa) de concentración de sacarosa, dependiendo de la temperatura. Tiene una densidad de 1.5879 g/mL y sus cristales son totalmente transparentes. Su rotación específica es de +66.5° cuando se encuentra en una solución de 26g de sacarosa por 100 mL de agua. (Sánchez y Bárcena. 2007)

Figura No.4 Estructura química de la sacarosa



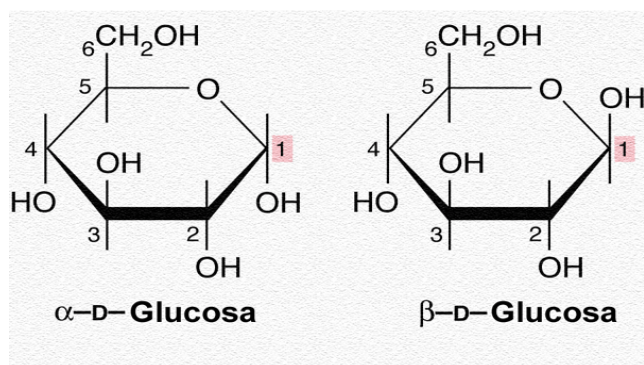
Fuente: Sánchez y Bárcena. 2007

2. Glucosa.

El primer componente principal de la sacarosa es la glucosa, conocida también como dextrosa. Este monosacárido tiene como fórmula química $C_6H_{12}O_6$ y un peso molecular de 180.16 g/mol. En la naturaleza, por su forma y composición, la glucosa se presenta de tres distintas formas:

- b. D – Glucosa: también conocida como glucosa de cadena abierta
- c. α -D-Glucosa: configuración alfa, debido a la posición del grupo hidroxilo
- d. β -D-Glucosa: configuración beta, debido a la posición del grupo hidroxilo. (Meade y Spencer. 1963)

Figura No.5 Estructura química de las formas de glucosa.

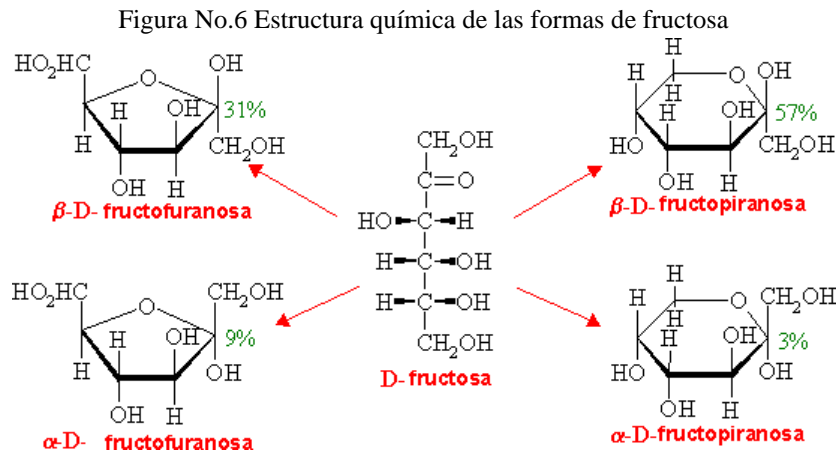


Fuente: Meade y Spencer. 1963

Los tres tipos coexisten y puede que lo hagan al mismo tiempo dentro del equilibrio. Sin embargo, la configuración alfa es la más estable y la que se encuentra en mayor concentración dentro de una solución de sacarosa. Sus distintos arreglos y combinaciones entre moléculas de glucosa forman la dextrina, almidón y la celulosa. Este compuesto es crucial para la vida vegetal y animal, proporcionando energía en ambos casos. (Sánchez y Bárcena. 2007)

3. Fructosa.

Contenida en bajas concentraciones en la caña de azúcar. Es el segundo componente principal de la sacarosa. Este compuesto químico, con la misma fórmula y peso molecular que la glucosa, pero distinto arreglo espacial, es el de mayor abundancia en las frutas, de donde deriva su nombre. Al igual que la glucosa, esta tiene cinco formas en la naturaleza, que pueden coexistir.



Fuente: Meade y Spencer. 1963

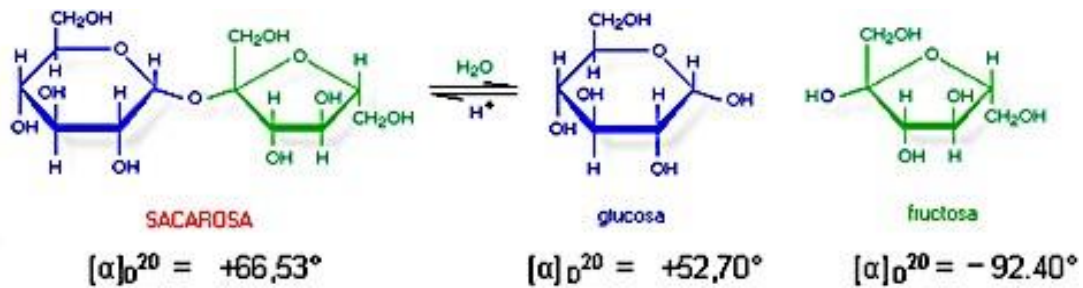
- e. D – Fructosa: también conocida como fructosa de cadena abierta
- f. α -D-fructofuranosa: configuración alfa, con el oxígeno fijado dentro de la cadena de 4 carbonos.
- g. β -D-fructofuranosa: configuración beta, con el oxígeno fijado dentro de la cadena de 4 carbonos.
- h. α -D-fructopyranosa: configuración alfa, con el oxígeno fijado dentro de la cadena de 5 carbonos.
- i. β -D- fructopyranosa: configuración beta, con el oxígeno fijado dentro de la cadena de 5 carbonos.

La β -D- fructopiranososa es la más abundante en las soluciones compuestas por fructosa, por lo que se puede decir que la fructosa es en su mayoría este compuesto. (Meade y Spencer. 1963).

4. Inversión de sacarosa.

Este disacárido es una especie química sumamente delicada, debido a que está formado por monosacáridos más solubles que la sacarosa, fructosa y glucosa. Al momento de reaccionar con agua, a condiciones de temperatura elevadas y condiciones bajas de pH, la sacarosa sufre una reacción de hidrólisis, conocida como inversión del azúcar.

Figura No.7 Reacción de inversión o hidrólisis de la sacarosa.



Fuente: Meade y Spencer. 1963

La reacción vuelve a disociar lo que en su momento el vegetal, como la caña de azúcar había unido, ambos monosacáridos (glucosa y fructosa), y se separan rompiendo así la molécula de sacarosa. El evitar este fenómeno es la lucha que la industria azucarera pelea a nivel mundial, ya que una alta tasa de reducción de sacarosa significa pérdidas en el proceso y un índice de productividad más bajo. (Meade y Spencer. 1963)

K. Métodos analíticos para determinación de sacarosa

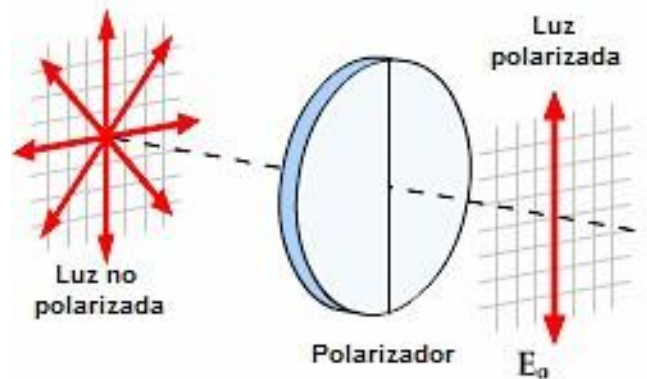
Existen diversos tipos de métodos y equipos para la determinación de sacarosa. En el presente trabajo se analizan y comparan los métodos de polarimetría y cromatografía líquida de alta resolución, HPLC por sus siglas en inglés (High Performance Liquid Chromatography). Se describirá los métodos y equipo utilizados para la determinación de sacarosa, que posteriormente serán analizados.

1. Polarimetría.

La polarimetría es el estudio de la rotación de sustancias ópticamente activas dentro de un plano de luz polarizado. Este plano debe encontrarse en un medio homogéneo para poder obtener de manera correcta la medición, que es al final la suma de todos los ángulos de rotación de una sustancia.

La luz está compuesta por ondas electromagnéticas. Estas ondas varían en frecuencia, dependiendo de la fuente de radiación que las esté emitiendo. Las ondas electromagnéticas se mueven en infinitas direcciones, siempre a distintas frecuencias de oscilación. Existen objetos, conocidos como polarizadores, que al momento en que una onda o rayo de luz pase por su plano, logran separar de las ondas electromagnéticas, únicamente las que son luminosas. Las ondas que logran pasar forman lo que se conocen como luz polarizada, ya que el polarizador eliminó sus demás componentes y dejó únicamente el componente lumínico que es visible a los ojos humanos. (Meade y Spencer. 1963).

Figura No.8 Esquema gráfico de la polarización de la luz.



Fuente: Skoog. 2015.

Para la polarimetría, la luz polarizada se hace pasar por soluciones que contienen sustancias ópticamente activas. Estas sustancias tienen la capacidad de hacer girar y cambiar de dirección la luz polarizada. Las sustancias se caracterizan por la magnitud y la dirección del giro que le dan a la luz, así este puede ser:

- Dextrógiro: giro positivo (+) hacia la derecha.
- Levógiro: giro negativo (-) hacia la izquierda.

Las soluciones de sacarosa contienen monosacáridos que hacen que la luz polarizada gire hacia distintas direcciones, por ejemplo, el giro de la glucosa es dextrógiro y el de la fructosa es levógiro. (Meade y Spencer. 1963)

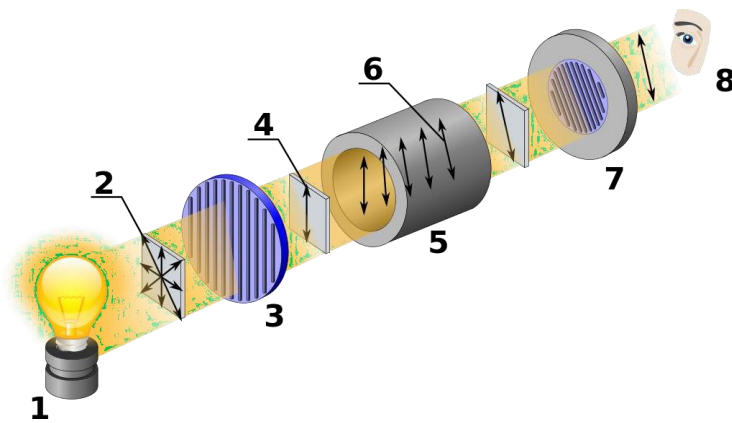
El polarímetro es el instrumento utilizado para la medición de la actividad óptica de una sustancia dentro de una solución. Su funcionamiento consiste en (revisar Figura No.9):

- Fuente de radiación para la emisión de la luz
- Detector del espectro de luz

- c. Polarizador
- d. Detector del espectro de luz
- e. Tubo conteniendo la muestra y
- f. Haz de luz polarizada
- g. Escala graduada

La escala graduada es la que se utiliza para medir el ángulo de giro de la solución. Básicamente, la luz sale de la fuente de radiación, se polariza, pasa por el tubo con la muestra cambiando de dirección y giro de la luz polarizada, por lo que se puede determinar luego en la escala graduada esta magnitud. (Meade y Spencer. 1963)

Figura No.9 Esquema gráfico del funcionamiento de un polarímetro



Fuente: Skoog. 2015

Sin embargo, en la industria no se utilizan polarímetros actualmente, debido a que se han inventado equipos conocidos como sacarímetros y en algunos casos automatizados y proporcionan mediciones más exactas del giro de la sacarosa en una solución. Los sacarímetros son polarímetros graduados para la medición únicamente de concentración de azúcar. Anteriormente se utilizaban los grados S ($^{\circ}$ S) para la medición de la concentración de sacarosa, sin embargo, en 1990, el Comité Internacional para la Unificación de Métodos para Análisis de Azúcar (ICUMSA) determinó un fallo en estos grados, con respecto a la temperatura (de 20.000°C a 20.005°C), cambiando así la escala a los ahora utilizados grados Z ($^{\circ}$ Z). La escala de $^{\circ}$ Z tiene una base de 100 unidades, donde el grado 100°Z es equivalente a 26 g de azúcar en una solución de 100 mL a una temperatura de 20°C . Las longitudes de onda utilizadas para medir en el sacarímetro son entre 540 nm a 590 nm. (ICUMSA. 2017)

Figura No.10 Representación gráfica de un sacarímetro

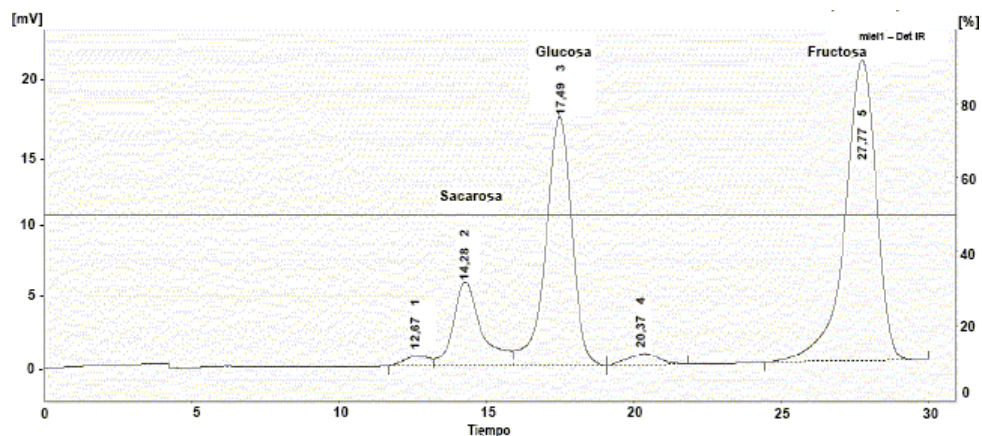


Fuente: Rudolf Research Analytical.

2. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

La cromatografía líquida de alta resolución es uno de los métodos más exactos para la determinación de concentraciones de sustancias. Su técnica permite la identificación y cuantificación de distintos compuestos en una solución, pudiendo así caracterizarla. La técnica de cromatografía toma como principios los de separación y de retención. Esta consiste en una columna que tiene una fase estacionaria a la que se le hace pasar una fase móvil (la muestra). La fase estacionaria y la móvil reaccionan con el tiempo y se van separando en los distintos compuestos que conforman la fase móvil, quedándose atrapados dentro de la columna a distintas distancias. El detector del HPLC cuantifica esta separación y el tiempo de retención de cada uno de los componentes dentro de la muestra en un cromatograma. El cromatograma es básicamente un gráfico que presenta picos, en donde se grafica la relación entre la abundancia o intensidad de la señal de un compuesto en el tiempo. (Chicharro, M).

Figura No.11 Cromatograma de una muestra de miel que contiene glucosa, sacarosa y fructosa



Fuente: Skoog. 2015

Posterior a la elaboración del cromatograma por parte del detector, este se interpreta con la altura de los picos, siendo el pico con más altura el de mayor concentración dentro de la muestra. Los tiempos de retención para estos compuestos son:

- Sacarosa: 13- 15 minutos
- Glucosa: 16-18 minutos
- Frutosa: 27-19 minutos

De esta forma se logran separar e identificar los distintos azúcares en una muestra jugo de caña de azúcar, miel o solución de azúcar. Posteriormente se utiliza la siguiente ecuación que relaciona el tiempo de retención en la columna, el área del pico y la concentración del azúcar o compuesto deseado. (Chicharro, M).

Ecuación No. 3 Determinación de concentración por medio del HPLC

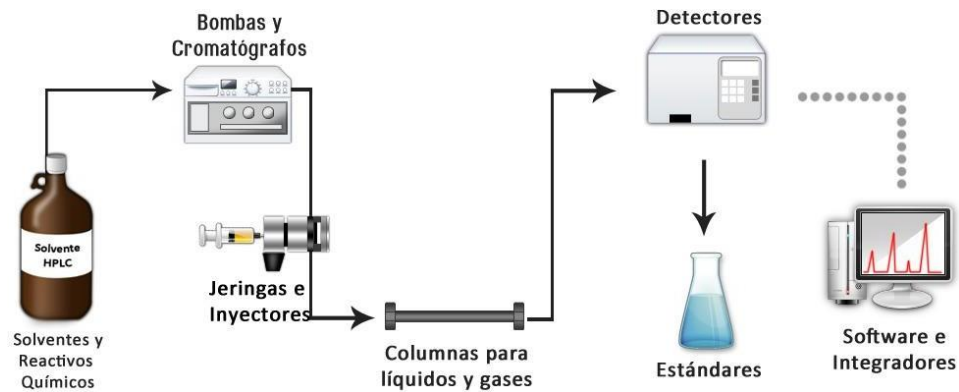
$$\% \text{ Compuesto} = \frac{\text{Área del pico}}{\text{Factor respuesta} * \text{concentración de muestra}} * 100\%$$

Fuente: Chicharro, M

El proceso de cromatografía líquida de alta resolución necesita de varios equipos para su funcionamiento:

- a. Filtros: los filtros se colocan previo a la inyección de la muestra al sistema. Su función es remover cualquier sustancia dentro de la solución con un tamaño de partícula mayor al deseado que pueda tapar o saturar la columna.
- b. Bomba de alta presión: para este proceso se utilizan bombas reciprocantes con capacidad de 1 a 6000 psi. Estas bombas son utilizadas ya que inyectan al sistema un flujo constante.
- c. Manómetro o controladores de presión: Controladores de fugas en el sistema, ya que para que este sirva se debe garantizar una alta presión.
- d. Válvula de inyección: las válvulas de inyección son de bucles y poseen inyectores automáticos, para la programación de las inyecciones de muestra, con el fin de no saturar la columna.
- e. Columna: la columna es la parte crucial del proceso. En ella se da la retención de cada uno de los compuestos por la interacción con la fase estacionaria. Estas son fabricadas de DVB (estireno divinilbenceno), un polímero que favorece el intercambio iónico y tiene una alta densidad superficial.
- f. Detector: son equipos sumamente exactos, insensibles a cambios de temperatura y presión. Este equipo es el que cumple la labor de cuantificar el tiempo de retención en la columna y la intensidad o voltaje, para poder construir de esta forma el cromatograma.

Figura No.12 Diagrama de proceso de la cromatografía líquida de alta resolución



Fuente: Chicharro, M

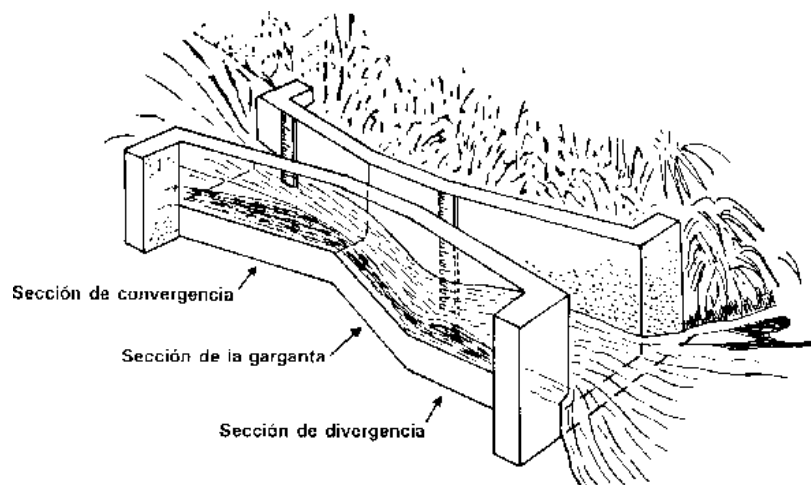
L. Canales de Parshall

Los canales o aforadores de Parshall son estructuras hidráulicas diseñadas específicamente para medir grandes caudales de agua que provienen de canales. Estos se emplean en la industria comúnmente en efluentes o afluentes para plantas de producción, ya que su fabricación es mucho más económica que la inversión en un equipo electrónico para medición de caudales. (Pedroza, E. 2001)

El canal de Parshall cuenta con 3 partes importantes que son:

- Sección convergente
- Garganta
- Sección divergente

Figura No.13 Esquema ilustrativo de las secciones del canal Parshall



Fuente: Pedroza, E. 2011.

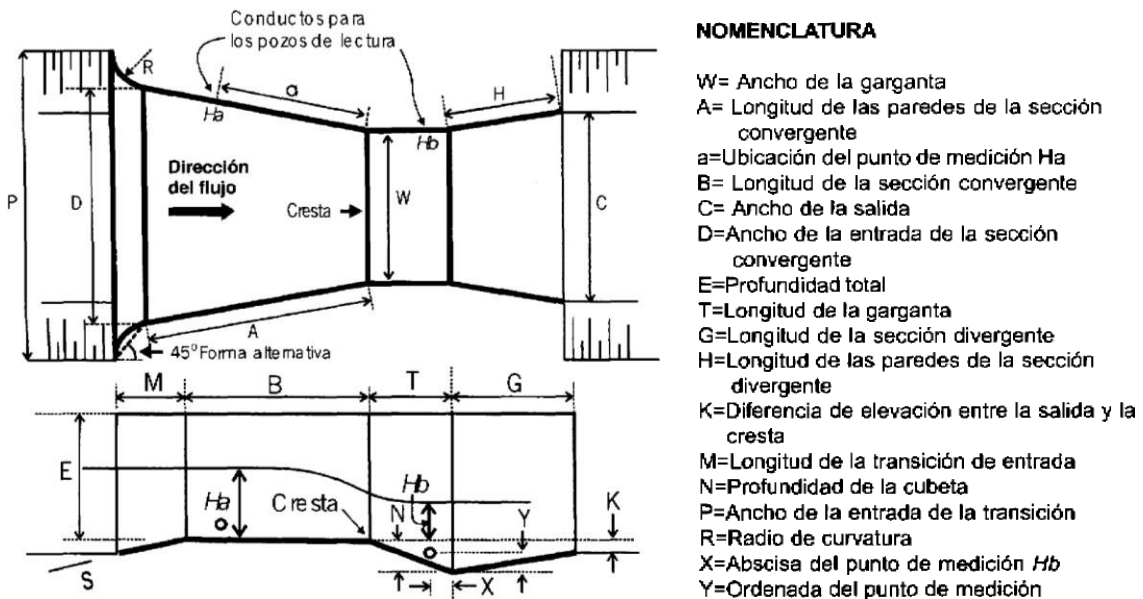
Utilizando este diseño y luego de varios experimentos, se pudo determinar que el caudal dentro de un canal de Parshall es proporcional a la altura o profundidad del agua en un punto específico (a) que depende del tamaño y dimensiones del diseño. Los canales de Parshall deben cumplir con distintas relaciones entre cada una de sus dimensiones, para que se pueda utilizar la ecuación matemática que describe el fenómeno y obtener resultados pegados a la realidad.

Ecuación No. 4 Cálculo del caudal en un canal Parshall

$$Q = C * H_a^n$$

Donde Q es el caudal que pasa por el canal; Ha es la altura o profundidad del agua en el punto (a); C y n, constantes que varían para cada diseño de canal de Parshall. Cada canal Parshall puede ser diseñado con distintas dimensiones, dependiendo de la necesidad de la situación. En Figura No.13 se muestra la nomenclatura y esquema para el canal, así como también las dimensiones y relaciones que deben existir para que este funcione debidamente. (Pedroza, E. 2001)

Figura No.14 Nomenclatura para las secciones del canal de Parshall



Fuente: Pedroza, E. 2011

Figura No.15 Medidas estándar de los aforadores Parshall

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	---	29	---	---	8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	---	43	---	---	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	---	57	---	---	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.286	1.524	2.242	2.436	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	---	0.457	---	---	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229

Fuente: Pedroza, E. 2011

M. Pérdidas de azúcar en un ingenio azucarero

Las pérdidas que se registran día a día en un ingenio azucarero se dividen en dos grandes grupos, estos se numeran a continuación.

1. Pérdidas determinadas.

Las pérdidas determinadas, como su nombre lo dicen, son aquellas pérdidas que se pueden cuantificar directamente realizando un método, procedimiento o análisis validado por el laboratorio de fábrica. Estas se encuentran en tres procesos de la producción de azúcar, en el bagazo, la cachaza y en la miel final, también conocida como melaza. Por lo regular en la industria azucarera, las pérdidas en el bagazo se obtienen midiendo la concentración de sacarosa en el bagazo y el peso total producido del mismo. Para la cachaza se utiliza un método similar, basado en concentración de sacarosa y peso total producido de cachaza. Para la miel final se utiliza el volumen total producido y la concentración de sacarosa dentro de la misma.

a. Pérdidas en bagazo.

Las pérdidas en el bagazo se dan debido a toda aquella sacarosa que quedo retenida dentro de la caña, que no se ha logrado extraer en el proceso de molienda. Los puntos más importantes que aportan pérdidas en esta parte del proceso son los siguientes:

- 1) Grado de preparación de la caña
- 2) Contenido de fibra en la caña.
- 3) Presión y abertura de los molinos.

Temperatura del agua de imbibición. (Acra Corporation, 1986)

b. Pérdidas en cachaza.

Las pérdidas en el área de cachaza se dan principalmente en los filtros de cachaza, en esta parte del proceso se lava la cachaza para retirar la mayor cantidad de sacarosa que aún está atrapada en la cachaza. Los puntos que más aportan a las pérdidas en los filtros de cachaza son los siguientes:

- 1) Tubos de succión saturados
- 2) Telas utilizadas para filtrar saturadas
- 3) Mal espesor en la cachaza.
- 4) Velocidades altas en los filtrados. (Acra Corporation, 1986)

c. Pérdidas en miel final. Las pérdidas en miel final, o melaza, se da debido a presencia de sacarosa en exceso dentro de este producto final, se genera después del agotamiento de la miel rica (meladura) en el proceso de cristalización. el exceso golpea directamente a los índices de productividad, ya que al final no es azúcar que se haya fabricado. Sin embargo, la melaza si tiene un valor comercial, esta es vendida. (Acra Corporation, 1986)

d. Pérdidas indeterminadas.

Las pérdidas indeterminadas son todas aquellas pérdidas que no se pueden identificar o cuantificar directamente con un método o proceso. Estas se van identificando o cuantificando realizando balances de masa de todo el proceso del azúcar, la cantidad de masa que haga falta para completar las salidas con las entradas se establece como pérdidas indeterminada, que no se sabe en qué parte del proceso se perdió. Las pérdidas indeterminadas se pueden resumir en 4 puntos, los cuales se amplían a continuación.

e. Pérdidas químicas.

La sacarosa en las condiciones correctas puede llegar a separarse en sus monosacáridos que la componen, es decir separarse en glucosa y fructosa. Los azúcares de glucosa y fructosa se les denominan como azúcares invertidos. Las condiciones a las cuales se da la separación de la sacarosa es en un medio ácido, temperaturas arriba de los 50 °C y varía según el tiempo al que se exponga la sacarosa a las mismas condiciones. Por lo general se da en los procesos de clarificación y evaporación. Arriba de los 80 °C las pérdidas por inversión son considerables, por lo cual se deben de evitar largas exposiciones a estas temperaturas. Algunas bacterias también pueden generar pérdidas por deterioro de la sacarosa en dextrana, la fermentación de la cachaza es una de las fuentes principales de pérdidas por deterioro a dextrana. (Ramos, 2002)

f. Pérdidas físicas.

Las pérdidas físicas son aquellas que se generan por arrastre, desborde o fugas en cualquier equipo del proceso de fabricación de azúcar. Un ejemplo de las pérdidas físicas se da en los evaporadores, donde las altas corrientes pueden llegar a arrastrar jugo o meladura, al ser arrastradas por el vapor contaminan el vapor a utilizar en el siguiente efecto, saliendo en la última etapa como condensado en conjunto con el agua. De igual forma una perforación en algún tubo de calandria puede llegar a contaminar todo el equipo. Otro de los problemas se puede dar en las centrífugas. Si se sobrepasan los límites de operación normales de una centrifuga, se puede llegar a desbordar una buena cantidad de la carga, incurriendo en pérdidas de sacarosa innecesarias. (Ramos, 2002)

g. Pérdidas aparentes.

Citando a Calero, estas pérdidas se generan por: “errores en pesajes de los materiales del balance o en las determinaciones analíticas, muestreos no representativos, cálculos incorrectos, o a la estimación errada de materiales en existencia, entre otras. Estas pueden llegar a ser una parte importante de las pérdidas; sin embargo, se pueden reducir si se establecen sistemas de verificación de pesos, análisis y resultados” (Calero, 2009)

N. Molienda total de caña en 3 días específicos en ingenio azucarero

El Cuadro que se encuentra a continuación detalla la cantidad total de caña molida en la fábrica para 3 días específicos de producción.

Cuadro No.2 Molienda total para 3 días específicos en ingenio azucarero en estudio.

fecha	día de zafra	Molienda total (t corta caña)
27/01/2018	74	19023.07
03/02/2018	81	18774.43
17/02/2018	95	18987.77

(Ingenio azucarero en estudio)

Ñ. Tipos de pérdida de sacarosa en el proceso

1. Pérdidas determinadas.

Son aquellas que pueden ser identificadas, cuantificadas y monitoreadas. Los ingenios las dividen como:

- a. Pérdida en bagazo
- b. Pérdida en cachaza
- c. Pérdida en miel final

2. Pérdidas indeterminadas.

Corresponden a las pérdidas no identificadas y que son calculadas por diferencia entre la pérdida total y las pérdidas determinadas. Pueden ser pérdidas físicas, por error en mediciones, por inversión de sacarosa, por microbiología, entre otros. (Monzon, 2017)

O. Polarimetría

Es el método de laboratorio utilizado para determinar el contenido de azúcar en una solución; se utiliza porque es una determinación rápida y sencilla. El polarímetro es un instrumento que mide los grados de rotación de la luz polarizada en una solución que contiene sustancias ópticamente activas y luego convierte

Los grados en porcentaje de sacarosa. El resultado medido por el polarímetro se le llama polarización directa o pol.

La sacarosa es dextro-rotatoria, lo que significa que, rota a la derecha en luz polarizada; a 20°C su rotación es de +66.5°. (Asadi, 2007)

P. Extracción con molinos

El objetivo de la molienda de caña es separar al jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, constituido principalmente por fibra. Se puede asumir que la caña está conformada por dos componentes (fibra y jugo), cada uno con dos subcomponentes:

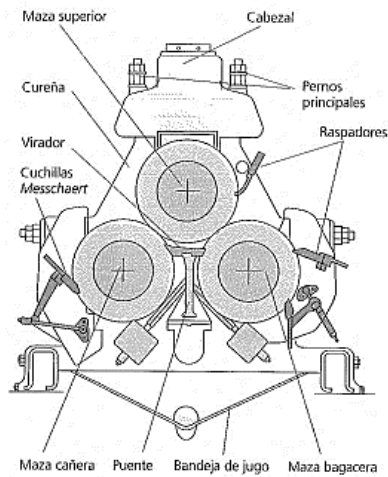
1. Fibra que consiste en: fibra vegetal y materia insoluble que no es fibrosa, pero a veces es medida como cenizas.
2. Sólidos disueltos (Brix), consiste en la materia que se encuentra en la caña que es soluble en agua como sacarosa (la cual se mide con polarimetría) y no sacarosas, también conocidas como no-azúcares o no- pol.
3. Agua, que se puede dividir en: agua disponible (solvente donde la sacarosa y no sacarosa están disueltos) y agua libre de Brix (agua que está ligada a la estructura celulósica de la caña y que no se encuentra disponible como un solvente para la sacarosa y no sacarosas y no es extraída en el proceso de molienda).

En los molinos la caña es exprimida utilizando elevadas presiones entre pares de mazas o rodillos consecutivos. Estos están diseñados para extraer tanto jugo (agua disponible + sacarosa + no azúcares) como sea posible de la fibra insoluble. El residuo de la caña después de que se ha extraído al jugo se denomina bagazo. (Rein, 2012).

El jugo extraído en el primer molino tiene siempre una mayor pureza que el jugo diluido, mientras que

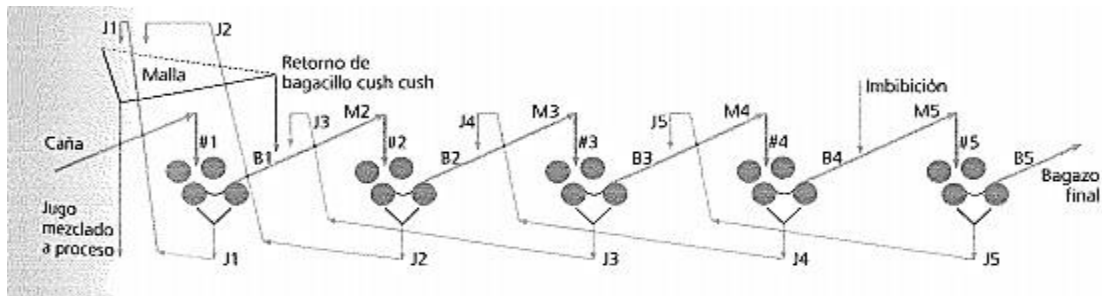
el jugo extraído al final del tren de molinos es siempre de menor pureza. Para permitir a los molinos siguientes extraer mayor cantidad de sacarosa se añade al bagazo agua de imbibición, la cual se mezcla con el jugo que queda en la caña, diluyéndolo y constituyendo un material a partir del cual los molinos pueden extraer más. (Rein, 2012)

Figura No.16 Molino convencional de tres masas



Fuente: Rein, 2012

Figura No.17 Diagrama de flujo de un tren de molinos con imbibición compuesta o Tándem.



Fuente: Rein, 2012

Q. Pérdidas de sacarosa a lo largo del molino

1. Pérdidas físicas:

Derramamiento de jugo, fugas en los tubos, canales y bombas glándula, el lavado sin cuidado y el mezclado del jugo con la lubricación de las masas o sistemas de enfriamiento, son obviamente pérdidas físicas de sacarosa que necesitan ser prevenidas mediante una observación cuidadosa y atención detallada. El contenido de sacarosa en todos los drenajes del área de molinos debe ser monitoreado regularmente.

2. Pérdidas por destrucción de sacarosa:

Donde es importante mencionar la pérdida por infección microbiana; esta pérdida es causada por ciertos microorganismos, resaltándose la especie *Leuconostoc*, que destruyen a la sacarosa para formar una variedad de productos de alto peso molecular como dextranas, manitol y ácidos orgánicos. Para prevenir las pérdidas por microbiología, el primer paso esencial es un lavado regular. Prevenir o limpiar cualquier charco de jugo estancado. En cada turno limpiar, con vapor saturado de escape o vapor o con agua caliente, todas las áreas accesibles de los molinos que están en contacto con el jugo. (Rein, 2012).

R. Lavado de caña

La mayoría de plantas de lavado de caña utilizan una o dos mesas de caña inclinadas con un ángulo de 35° a 45°, donde el agua de lavado se rocía sobre la caña a medida que esta viaja hacia arriba de la mesa. El agua es recolectada bajo la mesa, una parte de la cual se utiliza para recirculación mientras que el resto se envía a un sistema de tratamiento. (Rein, 2012).

1. Limpieza en seco.

La limpieza de caña en seco antes del procesamiento parece atractiva con relación al lavado de caña, pues las pérdidas de azúcar son inferiores. Los sistemas en uso están diseñados para remover alguno o todos los siguientes elementos: hojas de caña y cogollos, raíces y rastrojos, arena o suelo del campo, bolas de arcilla y piedras. El enfoque más rentable es probablemente proporcionar incentivos al cultivador u operador de la cosechadora para suministrar caña limpia. Sí esto no está dentro de las alternativas posibles la limpieza en seco de la caña podría traer los siguientes beneficios:

- a. Reducción de costos en términos de desgaste y mantenimiento
- b. Incremento de la capacidad de la fábrica debido a reducción de la materia extraña.
- c. Reducción del consumo energético.
- d. Mayor poder calorífico del bagazo.
- e. Menores pérdidas en bagazo, cachaza y mieles.
- f. Mejor calidad del azúcar.

También se tienen algunas desventajas:

- a. Instalación de equipo adicional, con costos asociados de capital, mantenimiento y operación.
- b. Una pequeña cantidad de caña puede perderse durante la limpieza.
- c. Se requiere hacer provisiones para deshacerse del material residual removido. (Rein, 2012)

S. Suspensión de lavado de caña

Aparte de las pérdidas de azúcar, el lavado de caña tiene otras consecuencias indeseables. La suspensión del lavado de caña en la fábrica Cora Texas dio los siguientes resultados (Monge y Schudmak 2002):

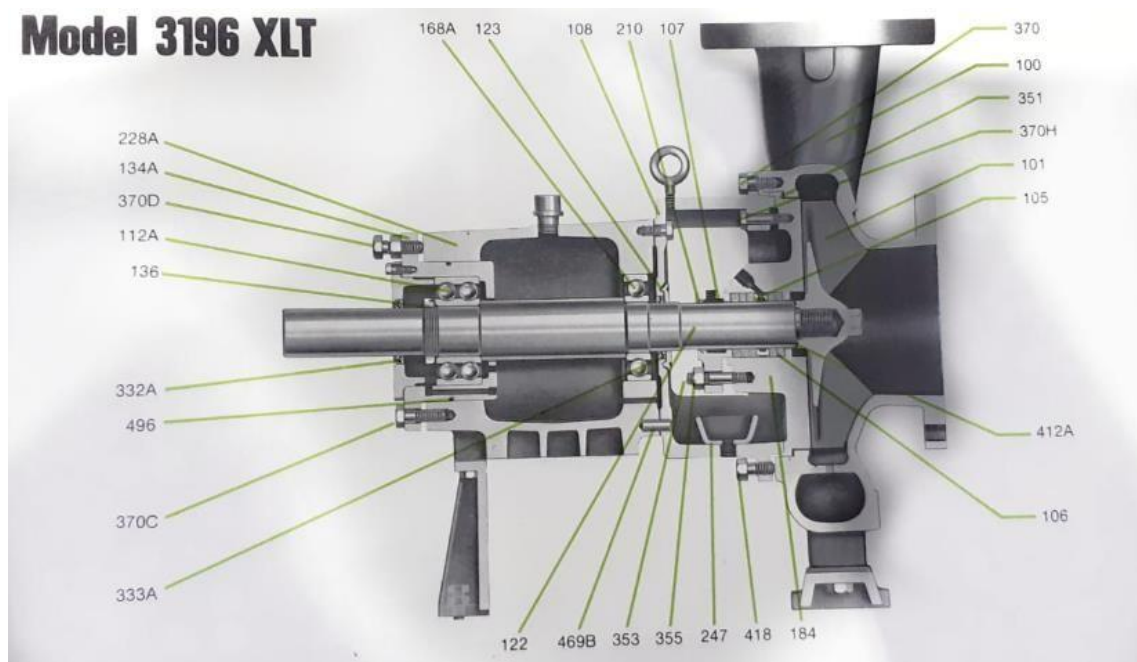
- g. Menos cal fue requerida tanto para encalar el jugo como para controlar el pH del agua de lavado.

- h. La imbibición se pudo incrementar en 9 t/100 t caña.
- i. El lodo en clarificadores aumentó en 25 %.
- j. La pureza del jugo aumento en 0.7 unidades, conduciendo a un mayor recobrado de azúcar.
- k. En evaporadores se requirió menos limpieza.

- l. La extracción mejoró aproximadamente en 1 %.
- m. Las cenizas en bagazo aumentaron y la eficiencia de calderas se redujo.

T. Bombas de jugo y maceración

Figura No.18 Bomba de jugo de caña.



Fuente: Manual de Goulds Pumps

Cuadro No.3 Partes de interés de la bomba

Número	Parte
106	Paquete prensaestopa
122	Eje de la bomba
126	Camisa del eje
184	Cobertura de prensaestopas

1. Camisa de flecha

Este protege la flecha contra la corrosión, erosión y desgaste por el uso. La camisa se desgasta, pero es

fácil reponerla; algunas son de acero inoxidable para manejar líquidos abrasivos.

2. Flecha o eje

Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que le imparte la flecha del motor, normalmente son de acero.

3. Estopas, empaques y sellos

La función de estos es evitar fugas del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba, y que ingrese flujo de aire a la bomba. El estopero es una cavidad concéntrica con la flecha donde van colocados los empaques, debido a la presión con la que se coloca, se origina en la flecha una fricción considerable que aumenta la temperatura por lo que es necesario proveerle un medio de lubricación y enfriamiento.

La presión de los empaques se efectúa por medio de los prensaestopas, una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos. (Viejo, 2000)

U. Conductores de caña

El ingenio utiliza conductor de tablillas de acero para el transporte de la caña. Estos conductores cumplen una dura tarea pues tienen que lidiar con la acidez del jugo de caña, suciedad, rocas y bagacillo. Se debe realizar una limpieza adecuada a los mismos usando vapor de escape o chorros de aire dirigidos a la cadena. Para asegurar un sellado adecuado entre las paredes laterales del conductor y el borde de las tablillas se puede soldar ángulos de hierro de 80x80 mm al conductor a lo largo de toda su longitud por encima de las tablillas. (Rein, 2012)

V. Mantenimiento

1. Mantenimiento preventivo.

En esta estrategia se interviene la máquina periódicamente para inspeccionar y reemplazar componentes aun cuando el equipo esté operando satisfactoriamente. Este tipo de mantenimiento es programable y existen varios procedimientos para llevarlo a cabo. (Morales, 2011)

2. Mantenimiento predictivo.

Este procedimiento de mantenimiento preventivo se define como un sistema permanente de diagnóstico que permite detectar con anticipación la posible pérdida de calidad de servicio que esté entregando un equipo. Este tipo de mantenimiento requiere, para su aplicación, de un estudio profundo del recurso que se va a mantener para conocer sus partes vitales, su tiempo de vida útil y la calidad de servicio que se espera de cada una de ellas, así como de su conjunto. (Morales, 2011)

3. Mantenimiento periódico.

Es un procedimiento de mantenimiento preventivo, de atención periódica, rutinaria, con el fin de aplicar los trabajos después de determinadas horas de funcionamiento del equipo. Esta forma de mantenimiento, cada vez que se ejecuta, logra que el recurso tenga de nuevo los niveles de fiabilidad requeridos. (Morales, 2011)

W. Herramientas para la evaluación de costos

1. Análisis de costos.

El análisis de costos es el proceso de identificar todos los recursos necesarios para poder ejecutar un proyecto. Es decir, determinar la calidad y cantidad de los recursos requeridos para representar el costo de un proyecto. Mientras más complejo sea el proyecto por analizar, se tendrá un análisis más minucioso y con más factores a tomar en cuenta. Es de suma importancia identificar todos los puntos que incurren en un costo para tener un costo total preciso y objetivo. (Billene, 1999)

2. Elaboración de bosquejos.

El bosquejo o sketch es una representación gráfica realizada de manera general y únicamente con elementos esenciales con el fin de plasmar una idea y poder analizarla de forma esquematizada. La elaboración y diseño de bosquejos es ampliamente utilizado como una herramienta en diversos proyectos debido a que facilita el entendimiento global de un concepto. (González, 2008)

3. Lluvia de ideas.

La lluvia de ideas es una técnica de pensamiento creativo que se utiliza para desarrollar varias ideas acerca de un problema o un tema específico. La razón por la cual esta herramienta se ha vuelto cada vez más popular en las empresas y grupos se debe a la gran generación de pensamientos creativos. Sin embargo, para lograr esta creatividad hay varios aspectos que deben tomarse en cuenta. Una de las consideraciones más importantes que debe hacerse es que no se debe juzgar ninguna idea al principio y todas deben tomarse en cuenta por igual. La relevancia de esto radica en que se requiere cantidad, originalidad y creatividad lo cual se logra cuando los participantes se sienten relajados y no criticados. (González, 2008)

4. Diagrama de Ishikawa.

El diagrama de Ishikawa también conocido como diagrama de causa- efecto o de espina de pez, fue desarrollado por Kaoru Ishikawa y es una de las siete herramientas básicas de calidad no estadística. Esta herramienta es ampliamente utilizada para determinar la causa principal de un problema mediante el desarrollo de subcausas. Esto permite resolver el problema minuciosamente y desde la causa raíz para evitar que vuelva a suceder o minimizar el problema. Además, otra de las ventajas de la realización de este diagrama es que permite tener una percepción de un problema complejo. (Bermúdez & Díaz, 2010)

5. Análisis crítico.

El análisis crítico de procesos es la evaluación del planteamiento de una propuesta, en donde se extrae

todos los componentes relacionados a la propuesta para entender el proceso en su totalidad. En un análisis crítico es fundamental preguntar: ¿Qué? ¿Cómo? ¿Para qué? ¿Dónde? ¿Quién? ¿Cuándo? ¿Por qué? ¿Con quién? ¿Qué se logra? Estas preguntas ayudan a tener un mejor razonamiento de la situación.

6. FODA.

El análisis FODA, como lo indican sus siglas, es una evaluación interna de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que enfrenta una organización, proyecto u otro. Esta es una herramienta simple que permite entender de forma generalizada la situación estratégica de lo que se desea analizar. Las fortalezas indican las habilidades y capacidades actuales, mientras que las debilidades son factores que hacen que lo evaluado sea vulnerable. Por otro lado, las oportunidades hacen referencia a elementos de posible crecimiento o mejoría, mientras que las amenazas representan los elementos incontrolables que conllevan a problemas potenciales. (Ponce, 2007).

X. Herramientas para la estandarización de procesos

1 Definición e importancia de la estandarización de procesos.

La estandarización de proceso se refiere a la unificación de procedimientos con el fin de lograr un comportamiento estable y controlado generando resultados de calidad homogénea. Para esto es importante definir los estándares específicos que indican la correcta realización de las tareas. (González & Taborda, 2016)

Actualmente, las industrias muestran mayor interés por la estandarización de procesos dentro de la empresa y en todas las áreas. Esto se debe principalmente a que la estandarización asegura homogeneidad en los resultados deducido en bajos costos de errores y mantenimiento de la calidad esperada. La implementación de procesos estandarizados es una ventaja competitiva que facilita a la empresa la mejora continua y el ahorro de tiempo y recursos al ser procedimientos que se repiten y que están expuestos a errores humanos. (González & Taborda, 2016)

2 Estructura de trabajo (EDT).

Durante el desarrollo de proyectos una de las principales tareas es la delimitación del alcance de este para implementar tanto los objetivos como los entregables y resultados esperados de cada integrante que forma parte del proyecto. Una de las herramientas utilizadas para lograr esta definición de alcance es la estructura de desglose del trabajo (EDT). Este instrumento ayuda a organizar e identificar los esfuerzos y responsabilidades requeridos para luego establecer un cronograma, realizar un análisis de costos y un análisis de recursos adecuado para la finalización del trabajo. Es importante tomar en cuenta que esta estructura debe considerar al 100% los entregables tanto los internos como externos y los métodos no deben ser muy prescriptivos para permitir iniciativa y personalización por parte de cada integrante del equipo. (RIB Spain, 2018)

3 Diagrama de operaciones del proceso (DOP).

El diagrama de operaciones del proceso (DOP) es una herramienta gráfica aprovechada para analizar un proceso y desglosarlo en sus fases de trabajo. Para la elaboración de este diagrama se utilizan símbolos para la representación de distintas actividades en secuencia. Además, se deben considerar todas las posibles acciones que pueden efectuarse después de llevar a cabo una operación. De esta forma se visualizan las decisiones que pueden llegar a tomarse dependiendo de la situación actual. (Blanco, 2015)

Una de las ventajas de la implementación de DOP es que facilita la comprensión de todas las actividades llevadas a cabo dentro de un proceso y la secuencia que debe seguirse para evitar errores y lograr los resultados esperados. Además, permite reconocer puntos u oportunidades de mejora, identificar las personas o entidades que se ven afectadas por el proceso y establecer límites respecto a otros procesos. (Ríos, 2018)

Y. Gestión de proyectos

1. Definición e importancia de la gestión de proyectos.

La gestión de proyectos involucra la organización y el manejo de recursos para llevar a cabo un proyecto con objetivos específicos. Las empresas normalmente se encuentran desarrollando y planificando proyectos para mejorar en un área definida. Es por esto que se le ha dado mucha importancia a esta disciplina ya que los proyectos requieren tiempos y recursos definidos para llevarse a cabo. (Darío, *et al.*, 2013)

Por otro lado, la gestión es necesaria para anticiparse a problemas o inconvenientes que puedan ocurrir durante el proceso. De esta forma existe un aseguramiento de los resultados esperados y de los efectos que estos puedan tener. Además, en un proyecto es común que surjan cambios no previstos por lo que se deben manejar con el cuidado debido y disponiendo de las herramientas o recursos que sean necesarios. (Darío, *et al.*, 2013)

2. Matriz de responsabilidades.

Una de las herramientas utilizadas para gestionar un proyecto es la matriz de responsabilidades. En esta se detallan lo que se va a hacer, el tiempo delimitado para entregar y terminar diversas acciones y asignar responsabilidades a una persona o a un grupo de personas a cargo. Esto es una ventaja al momento de implementar nuevos proyectos ya que se evitan conflictos y se especifican los roles de cada integrante del equipo. Una de las utilidades de esta matriz es que tanto el grupo desarrollador del proyecto como quien lo recibe conocen las expectativas y definen el alcance del trabajo. (Bacigalupo, 2018)

3. Matriz de riesgos.

Al igual que la matriz de responsabilidades, la matriz de riesgos conforma una parte fundamental en la

gestión de proyectos. Los riesgos suelen estar presentes en el desarrollo de proyectos debido a situaciones que no son posibles de controlar. Es por esto que resulta de gran importancia el conocer cómo abordar imprevistos y reconocer los riesgos que ciertas acciones pueden conllevar. (SIGWEB, 2018)

La matriz de riesgos consiste en identificar las eventualidades, la causa de estas y su posible impacto en el logro de los objetivos propuestos. Este análisis se debe realizar específicamente para un procedimiento dentro de un proceso específico identificando los factores internos y externos involucrados en los riesgos inherentes del proyecto. Para elaborarla es importante tomar en cuenta a varias áreas y a un grupo significativo de personas con conocimiento del proyecto para evitar pasar desapercibido alguno de los riesgos. (SIGWEB, 2018)

Para la elaboración de la matriz se deben establecer los pasos del proceso a llevar a cabo, lo cual puede realizarse mediante un diagrama de manera que sea más gráfico. Luego deben identificarse los factores de riesgo junto a la probabilidad que estos ocurran en un determinado proceso. Por último, debe establecerse el nivel de peligro que se tiene si el riesgo llegara a darse. Esto es importante registrarlo tanto cuantitativamente como cualitativamente para determinar la severidad de los riesgos y las acciones que deberían llevarse a cabo si ocurrieran. (SIGWEB, 2018)

4 Diagrama de Gantt.

Durante la ejecución de proyectos es importante llevar un control de las tareas realizadas y de la que están por realizarse. Para planificar y tener una programación organizada de estas se puede usar un diagrama de Gantt. Esta herramienta permite enlistar todas las actividades que deben hacerse, agrupándolas en subgrupos, con tiempos delimitados. Cuando se establecen tiempos específicos para la obtención de resultados se asegura un mejor aprovechamiento del tiempo y de los recursos ya que se deben cumplir con las fechas y horarios establecidos desde un inicio. (OBS, 2018)

El gráfico de Gantt consiste en un eje vertical con la lista de tareas a realizar desde que comienza un proyecto hasta que finaliza y un eje horizontal con los tiempos establecidos. Dependiendo de las actividades se definen las unidades de tiempo ya sean horas, días, semanas, meses, etc. Es importante realizar este diagrama con precisión ya que se debe monitorear el progreso de las tareas asignadas y debe ser lo más esquemático posible para que todos los involucrados puedan seguirlo y completar las tareas asignadas. (OBS, 2018)

AA. Análisis de rentabilidad

El análisis de rentabilidad mide la capacidad de generar utilidades por medio de una empresa o un proyecto. Su objetivo principal es la apreciación del resultado neto que se obtiene a partir de ciertas decisiones que son tomadas o ya bien, ciertas políticas de administración financiadas con los fondos de la empresa o del

proyecto.

Así mismo, este análisis evalúa los resultados económicos que se pueden tener varias actividades empresariales o de proyectos que se realizan con el fin de determinar el impacto que estos tendrían. (Guzmán, 2016)

BB. Análisis de viabilidad

El análisis de viabilidad de un proyecto permite de una manera amplia saber si realmente, este aportará aquellos beneficios que se esperan del mismo.

Algunos de los elementos de un análisis de viabilidad son: el alcance del proyecto, definición de los requisitos del proyecto, determinación del enfoque y la evaluación de la viabilidad de este, respectivamente (ESAN, 2017)

CC. Horizonte de tiempo

Un horizonte de tiempo se define como el tiempo al cual se hace una predicción. Dicho horizonte puede variar desde ciertas horas hasta varios años. El horizonte de tiempo influencia directamente la elección del modelo que se estará utilizando para determinar la rentabilidad de un proyecto. (U. Católica de Chile, 2014)

DD. Contrato No. 11 de azúcar.

Bajo el contrato No. 11 es negociada la producción a futuro de la caña de azúcar crudo a granel en un precio FOB (Free On Board). Este contrato proviene de los principales países exportadores de todo el mundo. La encargada de operar los precios del azúcar es la bolsa de Nueva York. Cada contrato cuenta con un volumen de 112,000 libras (50.8 toneladas métricas) y en los meses en que se cotiza un contrato son enero,

marzo, mayo, julio y octubre. Para el caso específico del presente trabajo se utilizó el precio del contrato de azúcar para determinar las pérdidas de azúcar en una medida económica. Se utilizó el precio promedio que estuvo fluctuando en los meses en que se realiza la zafra, es decir de noviembre a abril. (ABG, 2014)

EE. Tipo de cambio Quetzal – Dólar estadounidense.

El tipo de cambio, también denominado como tasa de cambio, se refiere a la relación de cambio entre dos monedas o, bien, la expresión del precio de una moneda en función de la otra. Cuando una moneda extranjera se hace más cara en la relación a la moneda local se dice que existe una depreciación del tipo de cambio; por otro lado, cuando una moneda extranjera se hace más barata con relación a la moneda local, se

dice que hay una apreciación del tipo de cambio. En el caso específico de este trabajo se utilizó el tipo de cambio del quetzal guatemalteco hacia el dólar estadounidense debido a que los precios del azúcar, como fue mencionado anteriormente, están expresados en la moneda extranjera. El tipo de cambio es dictado por parte del banco central de Guatemala (Banguat) y se utilizó un promedio del que estuvo fluctuando durante la época de la zafra 2017-2018. (Gestiopolis, 2016).

FF. Banco Central de Guatemala (Banguat)

El origen del Banco central se vincula a los desequilibrios monetarios y financieros ocasionados en el regimen monetario que se basaba en la existencia legal de un oligopolio de bancos emisores arreglado por el gobierno de Manuel Estrada Cabrera, generando una gran deuda del gobierno para estos bancos. Durante dicho gobierno, se invitó al profesor Krammer, quien estudiaría las condiciones monetarias del país y brindaría recomendaciones para el mismo. Dentro de sus principales recomendaciones se encontraba el establecimiento de un banco central que sería agente fiscal del gobierno y con el derecho exclusivo de la emisión de billetes. A pesar de que este intento se vió frustrado por una serie de eventos políticos y económicos el gobierno del presidente Orellana, en 1924, realizó nuevamente una invitación al profesor Krammer, esta vez para que el mismo propusiera un plan de reforma financiera. Fue aquí en donde, por medio del presidente Orellana, se decreta el establecimiento de una caja reguladora que ayudaría a estabilizar los tipos de cambio y luego, en noviembre de 1924 fue promulgada la Ley Monetaria de la República de Guatemala, dando vida a la nueva unidad monetaria que sería el quetzal, bajo el regimen del patrón oro. Finalmente, bajo el acuerdo Gubernativo del 30 de junio de 1926, se fundó el Banco Central de Guatemala, que coronó la obra de la reforma económica del Gobierno de Orellana. (Banguat, 2005).

GG. Método de mínimos cuadrados para proyecciones.

El método de mínimos cuadrados se define como un método funcional para muchos aspectos, entre estos se encuentra la proyección de ventas hacia futuros con base en datos históricos generados, la proyección de la demanda y la proyección de datos que se ajusten mejor a los históricos, entre otros. Así como cualquier otro método, este debe de ser ajustado en caso de que existan factores que cambien las condiciones y situaciones, tanto de un lado económico, político o de mercado, tanto externas como internas. (Gestión de operaciones, 2015).

HH. Cush Cush – Sedimentador

Consiste de un conductor largo de tabillas que barren sobre una placa de horizontal perforada e instalada al lado del molino. El jugo de molino es colado a través de la placa, mientras que las tabillas del conductor barren todo el bagazo que ha sido retenido por encima de la placa hasta un sistema para el retorno del cush cush.

El conductor también efectúa un trabajo elevando el cush cush hasta un conductor de retorno. La cadena opera en un ambiente muy corrosivo y necesita ser fabricada de acero resistente a la corrosión; las tablillas son generalmente de mandera. (Rein, 2012).

Usualmente, el bagacillo de cush cush se encuentra mojado, incluso luego del cernido, este tiene un contenido de humedad por encima de 90g/100g. Debido a que el cush cush que regresa al tren de molinos se encuentra mojado, en caso no se logre su retorno por medio de la gravedad, se utiliza un tornillo conductor para conducirlo de vuelta a los molinos. (Rein, 2012).

II. Tasa de interés líder del Banco central de Guatemala

Según el análisis integral de la coyuntura económica externa e interna y luego de la evaluación del Balance de Riesgos de la Inflación, la Junta Monetaria decide la imposición de una tasa de interés líder de política monetaria, para esta definición de la tasa de interés son tomados en cuenta los precios internacionales de las principales materias primas que inciden en la inflación del país. (Banguat, 2018)

V. Antecedentes

Es importante hacer mención dentro de los antecedentes que el historial del precio del azúcar en el mercado internacional fue un tema de suma importancia para el trabajo de investigación, este fue la base para calcular las pérdidas de azúcar en quetzales y con ese dato se podía determinar el parámetro para determinar si una propuesta era viable o no dentro de las que fueron brindadas al ingenio. Esta gráfica es posible visualizarla en Figura No.21

Otro tema importante fue el histórico de la molienda que tuvo el ingenio azucarero durante las zafras anteriores (zafra 2013-2014 a zafra 2017-2018), ya que este dato dio una visión general de cómo habían estado los ingresos económicos del ingenio azucarero en zafras anteriores y de esta manera tener una idea de lo que sería la molienda para la siguiente zafra (2018-2019) determinando la medida en que las propuestas que fueron brindadas ayudarían al ingenio con sus ingresos por el lado del azúcar. Este rubro es posible verlo en Figura No.19.

Por último, las pérdidas históricas de azúcar que se obtuvieron por parte del ingenio azucarero ayudaron dentro del presente trabajo a visualizar el comportamiento de las mismas para que así, se pudiera determinar si era pertinente utilizar estos datos como base para las proyecciones de las pérdidas de azúcar en futuras zafras, o bien utilizar solamente las pérdidas registradas en la zafra anterior (2017-2018) para el estudio del presente trabajo de investigación. Este rubro es posible verlo en Figura No.20.

Figura No.19 Histórico molienda 2013-2014, 2017-2018

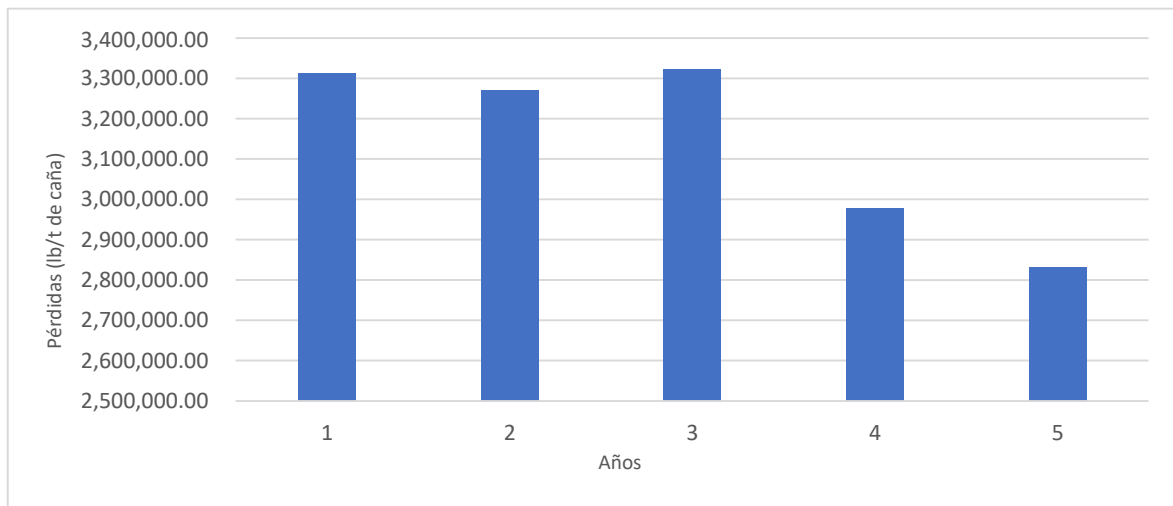


Figura No.20 Histórico pérdidas de azúcar 2013-2014, 2017-2018

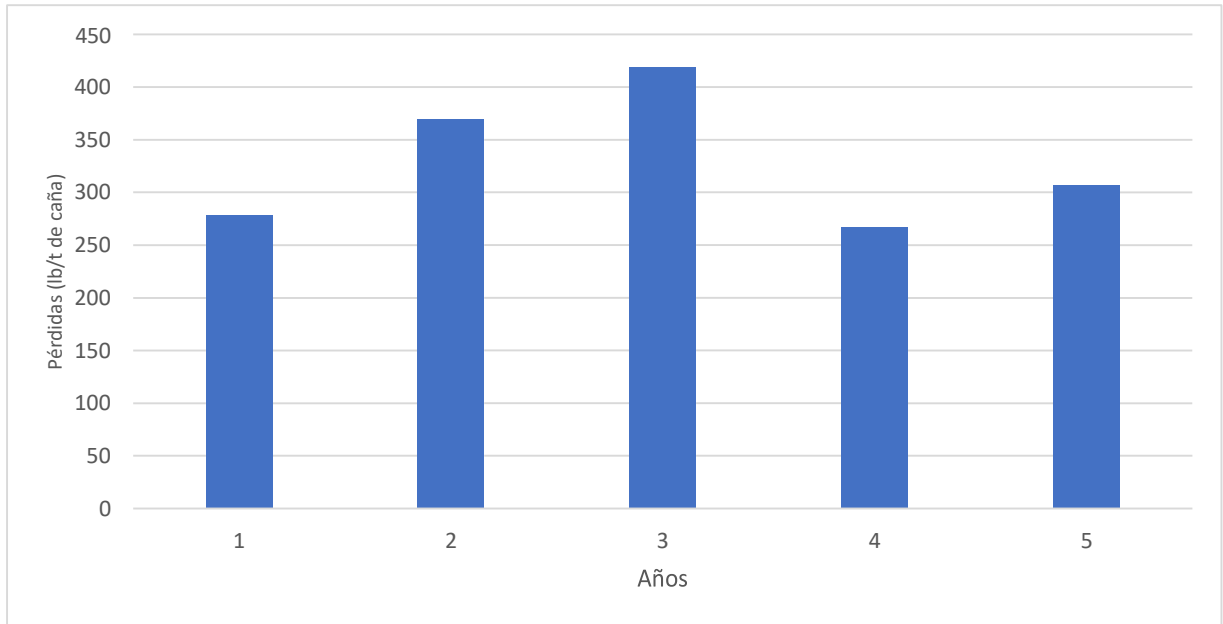
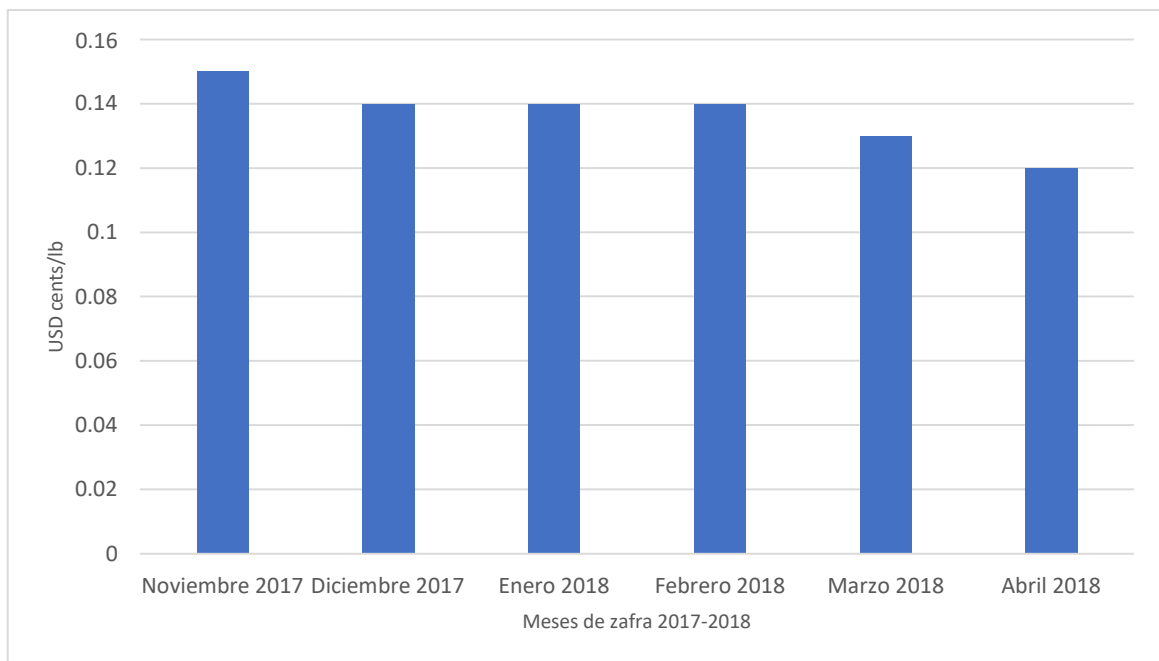


Figura No.21 Precio de la libra de azúcar contrato No.11



Por otro lado, el siguiente antecedente de este trabajo de investigación que se menciona a continuación, es una investigación en donde se analiza el impacto económico de las plagas y la melaza que provocan daño al cultivo de caña de azúcar.

Debido a que al inicio del proyecto se hizo un recorrido por toda la fábrica del ingenio en búsqueda de los puntos específicos en donde se presentaba una pérdida de jugo de caña, no eran puntos que estaban previamente identificados por lo que no se cuenta con un antecedente real de un trabajo realizado con el mismo propósito de la implementación de propuestas con base en una pérdida de azúcar en específico.

En el año 2011, la tecnóloga en química Ana Cecilia Herrera Zambrano, presentó a la universidad tecnológica de Pereira su trabajo de graduación, el cual se titula: *“Estudio comparativo de métodos para la determinación de sacarosa y azúcares reductores en miel virgen de caña utilizados en el ingenio Pichichí S.A.”*. El objetivo general del trabajo de graduación fue: “Evaluar la confiabilidad en cuanto a la precisión de los métodos analíticos utilizados para la determinación de sacarosa por el método polarimétrico y refractométrico y para la determinación de azúcares totales como reductores en miel virgen de caña comparando sus resultados con los obtenidos por el método de cromatografía líquida de alta resolución.”

El trabajo de graduación de anteriormente mencionado consistió en determinar la confiabilidad de los distintos métodos para determinación de sacarosa como polarimetría, método de Lane y Enyon, refractometría, cromatografía líquida de alta resolución, realizando una comparación de datos y una regresión lineal de los métodos contra el método de cromatografía líquida.

Finalmente, este trabajo estableció que el método de polarimetría era el más exacto en relación con el método de cromatografía líquida de alta resolución, que el método de Lane y Enyon tenía una exactitud media y el método de refractometría por dilución tenía una baja exactitud.

Por otro lado, se contaba con la información de las pérdidas de la zafra anterior (2016-2017) y las de la zafra en curso (2017-2018). Estas pérdidas evidenciaron un máximo de 4079 ppm y un mínimo de 299 ppm de sacarosa en los muestreos realizados en los efluentes del ingenio. Sin embargo, los valores mayores a 3500 ppm de sacarosa fueron descartados por medio de una prueba Q, con lo que se determinó que el rango de análisis de concentración de sacarosa para el estudio sería el mencionado en los resultados.

El ingenio azucarero cuenta con tres canales actualmente. De estos, existen dos canales de efluentes (Canales de Parshall) y un canal de afluentes (canal de entrada). Los canales de Parshall del ingenio están diseñados a la medida y son limpiados una vez por zafra en el periodo de mantenimiento. Por otro lado, el canal de entrada es un canal rectangular que cuenta con una sonda electrónica “Velocity Flow Meter” modelo: UF AV5000, que utiliza las dimensiones del canal y la velocidad del flujo de entrada para el cálculo del caudal. En las siguientes Figuras se puede apreciar el diseño de los canales y la ubicación de los mismos en el ingenio azucarero.

Figura No.22: Canal de Parshall de fábrica del ingenio azucarero



Nota: En este canal salen todos los efluentes del proceso del ingenio.

Figura No.23: Canal de Parshall de patio del ingenio azucarero



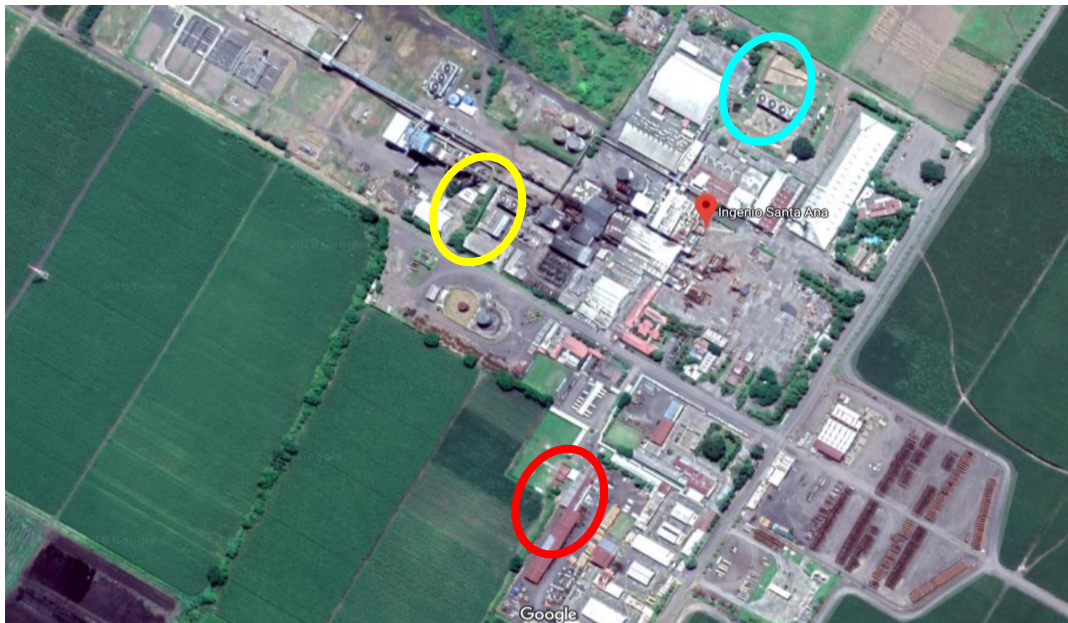
Nota: en este canal salen todos los efluentes provenientes de los molinos y las mesas de lavado del ingenio.

Figura No.24: Canal de entrada del ingenio azucarero



Nota: En este canal salen entran toda el agua utilizada en el ingenio azucarero.

Figura No.25: Ubicación de los canales de Parshall y canal de entrada



Nota: El óvalo amarillo es el canal de Parshall de fábrica; el rojo el canal de Parshall de patio; y el celeste el canal de entrada del ingenio.

KK. Metodología (materiales y métodos)

Propuestas de mejora en muestreo de jaulas de caña.

1. Determinación del proceso de muestreo de las jaulas de caña de azúcar.

Para la identificación de las variables que se ven involucradas en los resultados del porcentaje de azúcar en la caña, se debe empezar con la observación de la recepción de la caña, al igual que se debe observar y aprender de los análisis y procesos de laboratorio. Del resultado de la observación, se debe generar un esquema de todo el proceso de la caña de azúcar, desde la cosecha de la caña (corte y transporte) hasta la obtención de la muestra y resultados en el laboratorio de patio (Pol, Brix, Fibra, etc). Para ello se requiere seguir los siguientes pasos:

- Reconocimiento del proceso y laboratorio de control de calidad en el patio de caña del ingenio. Agendar una reunión con el jefe de laboratorio de control de calidad del Ingenio para definir claramente el problema en la obtención de resultados de los valores de la cantidad de Pol en la caña al momento de la recepción de la caña en el patio de caña.

Realizar una serie de visitas al laboratorio y observar la metodología de identificación de sólidos disueltos (Brix), polarimetría (Pol) y método de cantidad de fibra en la muestra de caña para comprender claramente cada uno de los procesos involucrados en dichos análisis. Es importante entrevistar al auxiliar del laboratorio de caña y al equipo del laboratorio, con quienes se puede obtener una explicación más detallada de los procedimientos actuales del laboratorio y la identificación de variables que podrían estar involucradas en el proceso.

- Toma de muestras de caña de las jaulas.
Registrar tiempos y grabar archivos de video para identificar puntos de mejora en todo el proceso de muestreo de la caña, con relación al procedimiento de la guía proporcionada por CENGICANÑA.
- Consulta bibliográfica.
Consultar diversas fuentes bibliográficas (manuales, metodologías, guías y artículos) para identificar la relación existente entre la preparación de la caña, el método de extracción del jugo y los resultados obtenidos en el laboratorio (Pol, Brix, Humedad, Fibra). Para ello se debe seguir la guía para la determinación de Pol en la caña de CENGICANÑA para el método de Core Sampler – Prensa Hidráulica.
- Diagrama del Proceso.
Elaborar de un diagrama de todos los procesos involucrados en la obtención de las muestras y en la metodología del laboratorio para obtener los resultados de la cantidad de azúcar proveniente del corte mecanizado, según los resultados obtenidos con los equipos del laboratorio de patio. Con el fin de buscar puntos de mejora en el proceso, para que sea mucho más sencillo identificar todas las actividades a las que se somete la caña y para identificar los puntos donde existen pérdidas de azúcar.

2. Determinación de las variables críticas en el proceso de muestreo con análisis estadísticos.

Para identificar las variables críticas en el proceso de muestreo de las jaulas de caña de azúcar en el laboratorio, se deben realizar los métodos estadísticos de análisis factorial de regresión. Esto para poder encontrar una correlación entre todas las variables identificadas en la observación realizada previamente; y posterior, un análisis multivariable, que permitirá identificar determinar si las variables afectan y cómo afectan sobre el resultado de la cantidad de azúcar en la caña al realizar los muestreos de las jaulas. Previo al análisis estadístico, para poder obtener los resultados de Brix, Pol, Fibra y Humedad en las muestras de caña de azúcar, se debe realizar un análisis por medio del Método Directo.

Equipos:

- Core Sampler horizontal marca Motocaña /IRBI
- Alzadora de caña marca Cameco
- Desfibradora con motor de 15 HP con láminas de acero y sello de neopreno de ¼ de espesor.
- Mezcladora de con motor de 1.5 HP
- Prensa hidráulica elaborada por DEDINI (diseño CODISTILL).
- Balanza marca Manweight con rango de 0 a 200g.
- Homogeneizadora marca HORNE.
- Refractómetro marca RUDOLPH Research
- Polarímetro RUDOLPH Research

Reactivos:

- Octapol Baddley Chemicals Inc.

Selección de la muestra. Es necesario comparar el método de muestreo de las jaulas con caña de azúcar, por lo que para cada muestra se debe emplear una sonda horizontal (Core Sampler) de 20 centímetros de diámetro y 1.5 metros de longitud, misma distancia a perforar horizontalmente dentro de la jaula de caña. La velocidad de rotación de la sonda deberá estar entre los 200-400 revoluciones por minuto. Estas medidas permiten obtener una muestra con una masa mínima de 10 kg necesaria para hacer diferentes análisis como Brix, Pol de caña, porcentaje de bagazo, índice de preparación, entre otros. De ser necesario se debe volver a perforar dentro de la jaula, si se observa que no se ha logrado obtener los 10 kg de muestra mínimos para realizar el análisis.

Figura No.26 Equipo de muestreo de sonda horizontal (Core Sampler) para jaulas de caña de azúcar en el laboratorio de patio.



Para las perforaciones en la jaula, se deben realizar en tres puntos a distintas alturas de esta, cada perforación es una submuestra que se debe descargar para realizar los análisis previos a la siguiente muestra. Las tres perforaciones deben seguir una línea diagonal, con el fin de que la muestra pueda llevar puntas, secciones medias y bases de la caña.

Alzadora de caña. Esta permite escarbar por la parte superior de la jaula aproximadamente un metro de forma vertical. La muestra de caña era recolectada y seleccionada por un laboratorista, agregando toda aquella que no estuviera prensada por la alzadora. De la misma forma, esta se pesaba para obtener como mínimo 10 kilogramos de caña de azúcar.

Figura No.27 Alzadora de caña de azúcar empleada para el muestreo en la parte superior de las jaulas de caña de azúcar en el laboratorio de patio.



Figura No.28. Selección y recolección de la muestra obtenida con la alzadora de caña.



Ambas muestras se trabajaron con el mismo procedimiento de desfibrado, mezclado y prensado, para lograr obtener los resultados de Brix, Pol y peso de torta húmeda.

Desfibrado y mezclado. Agregar la muestra a una desfibradora que trabaja una velocidad de rotación de 3500 revoluciones por minuto, hasta que toda la muestra de caña de azúcar haya sido desfibrada.

Utilizar una mezcladora con una capacidad útil mínima de 160 litros para las muestras, las cuales permanecen por un minuto a partir de que toda la muestra ha sido desfibrada. Recolectar toda la muestra y obtener una submuestra de 1.5 a 2.0 kilogramos. Es importante mencionar sobre el tiempo de permanencia, el cual no debe de superar los 10 minutos donde la muestra haya estado expuesta al ambiente.

Figura No.29 Sistema de desfibradora y mezcladora para la preparación de las muestras de caña de azúcar obtenidas del Core Sampler y de la alzadora de caña



Es necesario controlar que el sistema de la desfibradora y mezcladora sean adecuados para evitar cualquier tipo de pérdida de la muestra, evaporación o atomización. Por lo que se debe observar que el sello entre ambos equipos se encuentre en la posición correcta.

Figura No.30. Ejemplo de mala posición del sello en el sistema de desfibrado y mezclado para la preparación de la caña en el laboratorio de patio.



Prensado. Introducir la muestra, previamente pesada, a la prensa hidráulica. Se debe aplicar una presión de 250 kg/cm², por un minuto y recolectar el jugo de la muestra en un recipiente. El resto de la muestra, llamada torta húmeda, se debe pesar y por diferencia de peso se puede obtener la cantidad de jugo hay en la muestra de caña.

Figura No.31. Prensa hidráulica utilizada en el proceso de prensado para la extracción del jugo de la muestra de caña.



Clarificación. Para la obtención del Pol y grados brix, se requiere emplear un agente clarificante, el más recomendado es el Octapol, con el cual se recomienda una agitación mecánica con un equipo que gire entre los 30 a 60 revoluciones por minuto.

Figura No.32. Homogenizador de muestras de jugo para el análisis de de polarimetría



Refractometría. Utilizar el refractómetro ajustado a 0.05°Brix para obtener la medición de sólidos disueltos en el jugo (°Brix) respectivamente. La muestra se debe de homogenizar y se debe tomar una alícuota de 10 ml de jugo de caña como mínimo.

Figura No.33. Equipo refractometría utilizado para obtener el resultado de Grados Brix en las muestras de jugo de caña.



Polarimetría. Luego de la clarificación, se emplea el polarímetro a 880 nm y 582 nm. Se debe trasladar entre 125 a 150 mL de jugo a un beaker con una marca que facilite la medición más fácilmente. Se debe agregar el Octapol activado en una porción de 4 a 8 gramos, se recomienda utilizar una medida estándar que facilite la medición del reactivo. Es necesario filtrar la muestra para retener el Octapol y cualquier sólido que sea retenido por el Octapol. Es necesario descartar los primeros 10 ml de muestra para limpiar el beaker. La lectura se realiza en un tubo continuo, el cual se recomienda limpiar cada 15 análisis.

De la misma forma se recomienda mantener una temperatura controlada de la muestra de 20°C, al momento de realizar las mediciones en el equipo de polarimetría.

Figura No.34. Equipo de polarimetría utilizado para las muestras de jugo de caña ya clarificado y filtrado.



Control del sistema de sello y la desfibradora. Tomar una muestra aproximadamente de 20 kg de caña de azúcar y limpiar el tallo de la caña. Cortar el tallo a la mitad de forma perpendicular a la base de la caña y separar cada mitad de la caña en bolsas separadas e introducir las bolsas a un recipiente con hielo, para evitar que exista algún tipo de degradación de la muestra. Realizar el procedimiento de desfibrado y mezclado con el sello entre ambos equipos en su posición correcta, para una de las bolsas de muestras de caña.

Con la siguiente bolsa de muestra se debe realizar el procedimiento de desfibrado y mezclado, asegurándose que exista un sello correcto entre ambos equipos. Para ambos métodos de desfibrado y mezclado se debe realizar el procedimiento de prensado para obtener el jugo de caña y poder obtener los resultados de Brix, Pol y fibra en la caña.

Recopilación de datos. Recopilar los resultados del laboratorio por medio de una consulta a los datos recabados durante la zafra, para completar una tabla comparativa con las siguientes variables: correlativo, envío de caña, grados brix alzadora, peso de torta húmeda alzadora, grados brix del core sampler, pol del core sampler, peso de torta húmeda core sampler, variedad de la caña, finca, pante, distancia, peso de la nota, peso del viaje, tipo de corte, hora de quema, hora de cosecha, hora de ingreso, hora de pesado, temperatura promedio, humedad promedio, etc.

Uso de Minitab. En cada uno de los análisis estadísticos se describen la metodología para ingresar los datos al Software Minitab. El procedimiento para realizar un análisis factorial, se describe en Anexos. La metodología para limpiar y corregir los análisis, es decir eliminar toda variable que no es significativa, se puede observar en Anexos. Por último, la metodología para elaborar un diseño factorial para dos factores y distintos niveles, se puede observar en Anexos.

Análisis Estadístico. Para identificar la influencia de cada una de las variables recopiladas (Variedad, tipo de corte, tipo de muestreo, temperatura promedio, humedad promedio, distancia del viaje, tiempo de viaje, número de desfibradora, método de desfibrado, porcentaje de Pol en caña, porcentaje de fibra en caña, brix) o cualquier otra variable que se haya medido durante el muestreo de las jaulas de caña de azúcar, se analizan con la ayuda del Software Minitab. Agrupar en una serie de rangos las variables o factores: temperatura promedio (1, 2, 3, 4, 5, 6), distancia (1, 2, 3, 4), humedad promedio (1, 2, 3, 4, 5) y tiempo entre cosecha y muestreo (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Utilizar la herramienta de análisis factorial, para generar un diseño experimental de múltiples niveles para obtener los resultados clave del análisis de varianza (factor-P), el diagrama de Pareto, la ecuación de regresión y el ajuste del modelo (Regresión o R^2) en los siguientes análisis:

1. Método de desfibrado. Ingresar a Minitab como factores, con sus respectivos niveles, “método de desfibrado” (con sello, sin sello); “número de desfibradora” (1, 2); y como primer análisis, la variable respuesta el porcentaje de pol en la muestra de caña de azúcar “Pol%Caña”. Continuar con los mismos factores, cambiando la variable respuesta “grados Brix”; posterior a la variable respuesta “Peso de Torta Humeda”, y por último la variable fibra porcentaje de caña “F%C”.

2. Método de muestreo. Ingresar a Minitab los factores “variedad de caña de azúcar” (CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS); “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora) y el porcentaje de pol en la muestra de caña de azúcar “Pol%Caña”.

Diseñar un análisis factorial de múltiples niveles con el Software Minitab, según la metodología de Figura No. 46 en el Anexo. Para los factores de “variedad” y “método de muestreo”, partiendo de dos réplicas para el diseño. Elaborar un resumen del resultado del diseño factorial y los resultados de las muestras analizadas, determinando si el muestreo de las jaulas de caña, realizado entre el 18 de febrero y 20 de marzo, cumple con la confiabilidad mínima del 95%.

3. Método de muestreo y cantidad de fibra en la caña. Ingresar a Minitab los factores “variedad de caña de azúcar” (CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS); “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora) y el porcentaje de fibra en la

caña “F%Caña”. Emplear los mismos factores, cambiando la variable respuesta “grados Brix” y posterior la variable “Peso de Torta Húmeda”

4. Temperatura. Ingresar a MINITAB los factores “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora), los rangos de temperaturas promedio (1, 2, 3, 4, 5, 6) y el resultado del porcentaje de pol en la muestra de caña “Pol%C”.

5. Humedad. Ingresar a Minitab los factores “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora), los rangos de humedad promedio (1, 2, 3, 4, 5) y el resultado del porcentaje de pol en la muestra de caña “Pol%C”.

6. Tiempo entre la cosecha y muestreo. Ingresar los factores “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora), los rangos de “Tiempo de viaje” (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) y el resultado del porcentaje de pol en la muestra de caña “Pol%C”.

7. Distancia entre finca e ingenio. Ingresar los factores “método de muestreo” (Core Sampler; Alzadora), los rangos de “Distancia” (1, 2, 3, 4) y el resultado del porcentaje de pol en la muestra de caña “Pol%C”.

Eliminar todas aquellas variables que no son representativas para el análisis y que generan ruido, según la metodología de Figura No.47 en el Anexo, corrigiendo los resultados, sin las interacciones entre los factores que se determinaron como críticos, en todos los análisis elaborados previamente.

MM. Propuesta del modelo matemático según el comportamiento de las variables críticas

Utilizar un análisis de regresión factorial con el método del Software Minitab para las variables o factores (variedad de caña, método de muestreo, rango de temperatura, rango de humedad, rango de tiempo y rango de distancia), que presentan la mayor contribución a la variabilidad de la respuesta del porcentaje de Pol en la muestra de caña de azúcar (Pol%C). Repetir el mismo análisis factorial, cambiando la variable respuesta por los grados Brix (Brix), luego cambiar la variable respuesta por el Peso de la Torta Húmeda (PTH) y por último cambiar por la respuesta del porcentaje de Fibra en la Caña (F%C). En todos los análisis se debe seguir la metodología de Figura No. 23. Realizar la limpieza y corrección a los factores y a las interacciones entre factores que no son significativos estadísticamente para el resultado del porcentaje de Pol, los grados Brix, el Peso de Torta Húmeda y el porcentaje de Fibra en la Caña; siguiendo la metodología de Figura No.47 del Anexo.

Generar un resumen del análisis de regresión y extraer la ecuación proporcionada, con un coeficiente de determinación superior al 85%, por el método de Minitab para todas las pruebas efectuadas, que presentan una variabilidad significativa sobre las variables respuesta (Pol%C, Brix, PTH y F%C).

NN. Validación del modelo matemático y propuesta de metodología para datos futuros

Utilizar la ecuación obtenida a partir del análisis factorial del método de Minitab para las variables críticas “variedad de caña”, “rango de distancia” y “rango de temperatura”.

Corregir y validar los valores del porcentaje de Pol en las muestras (Pol%C) para los datos reportados por el ingenio entre las fechas 18 de febrero de 2018 y 20 de marzo de 2018. Filtrar para todas aquellas muestras provenientes del corte mecanizado, al igual que solo las variedades de caña analizadas (CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS) y sacar un promedio de los resultados de cada muestra corregida. De la misma forma, se deben corregir los valores del porcentaje de Pol en las muestras, con la ecuación obtenida del análisis factorial para los resultados de los grados Brix, el Peso de Torta Húmeda y el porcentaje de Fibra en la Caña. Emplear la Ecuación No. 2 para lograr obtener el resultado del porcentaje de Pol en las muestras.

Comparar el promedio de los resultados corregidos con la cantidad de azúcar recobrada en el proceso diario, convirtiendo el porcentaje de Pol en las muestras a kilogramos de azúcar por telada métrica de caña molida (kg/T métrica).

Ecuación No. 5 Conversión del rendimiento³

$$Pol \text{ en Caña } \left(\frac{lb}{ton} \right) = Pol\%C \times 20$$

Donde:

Pol%C es el porcentaje de Pol en la muestra de caña.

Ecuación No. 6 Conversión a unidades internacionales

$$\frac{kg}{Tm} = \left(\frac{1kg}{2.1739 \text{ lb españolas}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Ton}}{0.92 \text{ Ton}} \right)$$

³ Ecuación para trasladar el porcentaje de sacarosa en la caña en lb/t caña según el método CONSECANA, Brasil

ÑÑ. Elaboración de un manual de usuarios (programa) para reajustar resultados del muestreo de caña.

Elaborar un documento de Microsoft Excel donde se pueda obtener el porcentaje de Pol en la caña corregido, ingresando únicamente las variables “Variedad de caña”, “Temperatura promedio”, “Distancia de viaje” y “Pol”. Al mismo tiempo, explicar por medio de una guía la metodología del proceso de corrección de forma sencilla y clara, como en Figura 46 del Anexo. El programa requiere que se realice de forma automática el cálculo de número o rango para las variables “Temperatura media” y “Distancia de viaje”, para luego poder obtener el resultado de Pol%C ya corregido y pueda ser utilizado para otros cálculos y análisis del laboratorio.

Validación de métodos analíticos y de laboratorio. Se realizó el estudio de los métodos de laboratorio, para lo que fue necesario primero conocer las técnicas y los equipos que utiliza actualmente el ingenio azucarero para la determinación de caudal y sacarosa en los distintos puntos de muestreo. Posteriormente a esto se realizaron pruebas que incluyeron comparaciones entre métodos y equipos, determinando la exactitud del resultado. Finalmente, se determinó la eficacia de los métodos para las mediciones y se realizaron recomendaciones de mantenimiento, muestreo, mejora de proceso, entre otras. A continuación, se muestra la metodología para cada uno de los métodos validados.

OO. Validación de polarimetría

- Se realizó una revisión bibliográfica sobre el método, los equipos utilizados en la industria, la forma en la que se presentan los resultados y en la que se analizan.
- Se realizó una revisión del equipo a utilizar (polarímetro o sacarímetro)
- La calibración del polarímetro, en este caso, se realiza por zafra por una empresa tercerizada que entrega un certificado de confiabilidad de los resultados del equipo.
- La calibración del HPLC se revisa semanalmente y se calibra para validar que los resultados proporcionados son confiables, usando curvas de calibración y soluciones estándar, con el fin de encontrar el factor de corrección del HPLC en esa semana.

Documentos utilizados:

Metodologías de ensayo

1. Metodología de determinación de azúcar por medio de polarimetría (ING.-MM001).
2. Metodología de determinación de azúcar por medio de HPLC (ING.-MM002).
3. Metodología de determinación de caudal por medio de canal de Parshall. (ING.-MM003).

Procedimiento de muestreo

4. Procedimiento de muestreo para determinación de caudal y concentración en los canales de Parshall (ING.-PM001).

Manuales de validación

5. Manual de validación del polarímetro con respecto al HPLC. (ING.-MV001)..

Hojas de cálculo de validación

6. Hojas de cálculo de validación para el polarímetro con respecto al HPLC. (ING.-MVE001).

Para la validación de este método se analizó 20 muestras de efluentes con trazas de azúcar o sacarosa. A las 20 muestras se les realizó análisis de polarimetría (duplicado) y de cromatografía líquida de alta resolución para determinar la concentración de sacarosa de las muestras. El procedimiento fue el siguiente:

- Se realizó el muestreo de efluente utilizando el procedimiento de muestreo ING.-PM001. Anexos, página 67.
- Se analizó la concentración de sacarosa de muestras de efluentes con trazas de azúcar utilizando las metodologías de ensayo ING.-MM001 y ING.-MM002.
- Se analizó el caudal de muestras de efluentes con trazas de azúcar utilizando las metodologías de ensayo ING.-MM003. Anexos, página 62.
- Se tabularon los datos y análisis de validación de los mismos utilizando el manual de validación ING.-MV001 y la hoja de cálculo de validación ING.-MVE001.

Posterior a esto se realizó un análisis estadístico de los resultados y un análisis de rechazo de resultados para llegar a la ecuación de correlación entre los resultados proporcionados por el polarímetro y los resultados proporcionados por el cromatógrafo. Para todas las Metodologías de Ensayo, Procedimientos de muestreo, Hojas de cálculo de validación, revisar la sección de Anexos, Punto 2.)

PP. Validación de canales Parshall

- Se realizó una revisión bibliográfica sobre el método, los diseños y equipos utilizados en la industria, la forma en la que se presentan los resultados y en la que se analizan.
- Se realizó una revisión del aforador a utilizar (canal de Parshall)

Documentos utilizados:

- Manuales de validación
- Manual de validación del canal de Parshall. (ING.-MV002).
- Hojas de cálculo de validación
- Hoja de cálculo de validación para las dimensiones del canal de Parshall. (ING.-MVE002).

Para la validación de este método se tomaron las medidas de todas las dimensiones y regiones del canal de Parshall. El proceso fue el siguiente:

- Se analizó los datos utilizando el manual de validación del canal de Parshall (ING.-MV002).
- Se tabuló los datos y análisis de validación de los mismos utilizando el manual de validación ING.-MV002 y la hoja de cálculo de validación ING.-MVE002.

Posterior a esto se realizó un análisis estadístico de los resultados y un análisis de rechazo de resultados para llegar a determinar los porcentajes de variación del canal de Parshall con respecto a sus medidas de diseño.

Por otro lado, se realizó un análisis del histórico de 10 días de la zafra 2017 – 2018 y se determinó la confiabilidad de los datos proporcionados por el Parshall y se verificó la variación que existe en distintas horas del día en el efluente proveniente del ingenio azucarero, demostrando así la validez de utilizar un canal de Parshall como medidor puntual o continuo.

Para la realización de las metodologías de ensayo y procedimientos de muestreo, se tomó como referencia los métodos descritos por ICUMSA (GS3-50. 2013) y CENGICAÑA (CC-LABF-0009) para la determinación de trazas de sacarosa. Además de esto, se realizaron entrevistas con el personal del laboratorio en donde se determinaron los procedimientos actuales para identificar oportunidades de mejora. Se hizo un estudio profundo de los métodos y se adecuó para la situación del ingenio azucarero en estudio.

QQ. Validación de sonda electrónica

- Se realizó una revisión bibliográfica sobre el método, los equipos utilizados en la industria, la forma en la que se presentan los resultados y en la que se analizan.
- Se realizó una revisión del equipo a utilizar (sonda electrónica)
- La calibración de la sonda electrónica, en este caso, se realiza por zafra por parte del equipo de automatización del ingenio, en donde se da el tratamiento requerido al equipo y se establecen los rangos de medición para la sonda.

Documentos utilizados:

Metodologías de ensayo

1. Metodología de determinación de caudal por medio de alturas y velocidades. (ING.-MM004).

Manuales de validación

2. Manual de validación de la sonda electrónica del canal de entrada. (ING.-MV003).

Hojas de cálculo de validación

3. Hoja de cálculo de validación para la sonda del canal de entrada. (ING.-MVE003).

Para la validación de este método se analizaron 8 muestras del afluente que ingresa por el canal de entrada al ingenio. Las muestras analizadas con el método de alturas y velocidades se tomaron en duplicado. Los resultados provenientes de la sonda electrónica se tomaron una vez únicamente. El procedimiento de la validación fue el siguiente:

- Se analizó el caudal de entrada utilizando la metodología de ensayo ING.-MM003.
- Se validaron los resultados y se compararon contra los resultados de la sonda electrónica utilizando el manual de validación ING.-MV003.
- Se tabularon los datos y análisis de validación de los mismos utilizando el manual de validación ING.-MV003 y la hoja de cálculo de validación ING.-MVE003.

Posterior a esto se realizó un análisis estadístico de los resultados y un análisis de rechazo de resultados para determinar la variación entre los resultados de un método y otro. En este caso, se implementó un cambio en la metodología ya que se procedió a realizar una limpieza del suelo del canal de entrada y del sensor de la sonda electrónica, para verificar si esto afectaba a las mediciones. Posterior a esto se volvió a hacer el mismo análisis y se tabularon los resultados de acuerdo con el manual de validación mencionado anteriormente.

RR. Identificación de los puntos de alimentación del efluente principal de fábrica

Se realizó un recorrido completo de la fábrica de producción de azúcar para entender y tener claro el proceso. Se conoció el efluente principal de salida de fábrica, teniendo clara la composición del mismo para saber que buscar dentro de la fábrica.

Se identificó las principales salidas de la fábrica y los puntos de convergencia hacia el efluente principal. Se identificaron las tuberías y los equipos que alimentan las salidas de la fábrica que se dirigen al efluente principal, marcando físicamente cada tubería con un número correlativo.

Se realizó un esquema a vista de planta con todas las tuberías que alimentan el efluente principal de la fábrica de producción, identificando a que equipo o proceso pertenecen dichas tuberías y siguiendo la numeración colocada a cada tubería física.

El Parshall de fábrica fue el punto de partida para cumplir con el objetivo general, debido a que este confirmaba la presencia de sacarosa en el efluente. Se identificó todas las tuberías de los equipos de fábrica que alimenten este canal principal y tener el esquema a vista de planta claro y bien identificado para poder muestrear las tuberías con orden y poder presentar los resultados de manera concisa. De igual forma en el esquema obtenido se describió de manera clara de que equipo o sistema viene cada una de las tuberías que alimentan el canal principal.

Previó a la obtención directa de los resultados de concentración de cada uno de los puntos de alimentación del efluente principal, se debía validar el método que utiliza el ingenio para tomar muestras. Para validar dicho método se compararán los resultados para una misma muestra. La primera se obtuvo siguiendo la variación del método de concentración de sacarosa por polarimetría estándar de cengicaña y la segunda analizando la misma muestra con el HPLC del ingenio azucarero. Una vez validado el método de polarimetría estándar se procedió a tomar todas las muestras de cada uno de los efluentes de las tuberías previamente identificadas en la fábrica. Se deben de seguir dos métodos, uno para el muestreo del efluente y segundo para medir el caudal de la tubería. Cada uno de estos métodos mencionados se describe a continuación.

SS. Muestreo de puntos de alimentación del efluente principal

- Se recibió una capacitación acerca del método de muestreo de concentración por polarimetría que utiliza el ingenio azucarero, el cual es una variación del método estándar de cengicaña.
- Se ayudó a validar el método de muestreo realizando muestras y análisis de control, para su posterior comparación.
- Una vez validado el método, Se muestreó en triplicado cada uno de los 49 efluentes de las tuberías previamente identificadas dentro de la fábrica, para obtener promedio de concentración con el objetivo de tener un valor estadístico de mayor confianza.
- Se analizó la concentración de sacarosa de cada una de las muestras obtenidas en el punto número 3 siguiendo los siguientes pasos.
 - Depositar 50 mL de muestra en un Erlenmeyer con tapón.
 - Agregar 0.5 gramos de agente clarificante u octapol.
 - Tapar Erlenmeyer y agitar la muestra durante 30 segundos.
 - Colocarle un filtro de papel a un embudo.
 - Colocar el embudo con filtro sobre un beaker.
 - Filtrar 5mL de muestra y desechar el líquido obtenido en el beaker.
 - Filtrar el resto de muestra y esperar que se deposite en el beaker.
 - Depositar la muestra dentro de polarímetro marca Waters Sugar Analyzer con incertidumbre de ± 0.01 .
 - Leer muestra obtenida en pantalla digital.
- Se analizó la concentración de sacarosa del efluente principal de la fábrica de producción siguiendo el mismo método anteriormente descrito.
- Se obtuvo el caudal de cada uno de los efluentes de las tuberías en las cuales se encontraron trazas de sacarosa siguiendo los siguientes pasos.
 - Tarar recipiente a utilizar, por lo general se utilizan recipientes de 1,000 mL plásticos con tapadera.
 - Colocar cronómetro en 0.

- Colocar recipiente en la salida de la tubería y tomar el tiempo que tarda en llegar a la marca de 860mL o 180mL.
- Realizar el procedimiento en triplicado para obtener promedio de caudal y que el valor estadístico obtenido sea de mayor confianza.
- Dividir el volumen obtenido dentro del tiempo obtenido, el promedio de los 3 valores es el caudal promedio de la tubería.
- Se evaluaron los resultados e identificar los puntos más significativos de pérdida de sacarosa para el ingenio, siendo los más significativos aquellos que contengan mayor cantidad de kg de sacarosa en un día específico de molienda.
- Se identificó el punto más importante de pérdida en base a la concentración de sacarosa y el caudal obtenido.

TT. Recomendaciones para disminución de pérdidas de punto crítico

- Se identificó el punto más importante de pérdida en la fábrica de ingenio azucarero.
- Se revisó bibliográfica acerca del proceso o equipo identificado como la fuente de la pérdida de azúcar.
- Se discutieron posibles soluciones con ingenieros encargados del proceso o equipo del ingenio azucarero.
- Se propuso una solución pertinente que ayude a disminuir la pérdida de sacarosa elegida.

La solución propuesta para disminuir pérdidas de sacarosa se realizó solamente en un punto de muestreo encontrado a lo largo de toda la fábrica. Debido a esto, este debe de ser el último proceso por realizar. Se debe de hacer un análisis de todos los datos obtenidos y enfocarse en el que mayor pérdida represente para el ingenio y el cual pueda ser resuelto de una forma viable. Luego se platicó con los ingenieros encargados del proceso y se planteó la solución para que fuera evaluada previamente por ellos.

UU. Análisis estadístico de muestras obtenidas

- Se corrigió los valores obtenidos de concentración de sacarosa en PPM por método de HPLC, ver cálculo No. 3 en anexos.
- Se obtuvo el promedio de cada una de las muestras medidas en triplicado para asegurar la confianza de los datos y eliminar posibles picos o valles estadísticos en los valores obtenidos. Esto se realiza tanto para caudal como para concentración de sacarosa.
- Se multiplicó la concentración de sacarosa por el flujo correspondiente para cada uno de los efluentes en los cuales se encontraron ambos datos.
- Se convirtió los flujos máxicos obtenidos a unidades del sistema internacional para presentar resultados válidos.

- Se llevó a cabo análisis de incertidumbre sobre los datos calculados para reportar cada una de las pérdidas con su posible incertidumbre.
- Se multiplicaron los flujos máxicos obtenidos por la cantidad total de caña molida en un día específico de zafra, para reportar las pérdidas de sacarosa en kilogramos.
- Se multiplicaron las incertidumbres de los flujos máxicos obtenidos por la cantidad total de caña molida en un día específico de zafra, para reportar las incertidumbres de pérdidas de sacarosa en kilogramos.

Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B de molinos

VV. Materiales y equipo

Cuadro No 4. Equipo de medición de muestras

Equipo	Marca	Modelo
Polarímetro	Rudolph Research	AP 880 Serie 3033
Metro de 5 m	3M	-
Cronómetro	Casio	-

Materiales y reactivos

- Octapol (Reactivo clarificante)
- Termómetro electrónico
- Pelota de ping pong
- Baño de hielo (Balde de plástico con agua y hielo)
- Beaker/vaso
- Papel filtro
- Embudo plástico
- Recipientes de plástico
- Tomamuestra

XX. Procedimiento

1. Identificación de salidas de agua del Tándem de molino que se dirijan luego al drenaje que transporta el agua a la salida de Parshall de patio.
 - a. Mediciones de caudales de las salidas agua y polarimetría para determinar la concentración de sacarosa.
2. Identificación de tuberías que desembocan en las salidas de agua identificadas anteriormente.
 - a. Mediciones de caudales de las tuberías y polarimetría para determinar la concentración de sacarosa.

3. Análisis del estado físico de los equipos que utiliza el proceso de molienda del Tándem B (Ejemplo: Bombas de jugo de caña y maceración, tanques de almacenamiento de jugo de caña).
 - a. Si se tienen fugas, realizar una medición de polarimetría para determinar la concentración de sacarosa y, de ser posible, caudal.
4. Búsqueda e identificación de fugas en el canal que transporta el jugo de caña a los tanques de almacenamiento.
 - a. Documentar cualquier fuga que se encuentre por medio de fotos y/o videos y, de ser posible, realizar medición de polarimetría y caudal.
5. Elaboración de un diagrama del equipo con sus principales componentes, que muestre las entradas y salidas de agua y los puntos de toma de muestra.

La identificación de efluentes del proceso brinda al analista los puntos en los cuales se debe realizar las mediciones de concentración de sacarosa y así comenzar con la fase de cuantificación; con el método de polarimetría se determina dicha concentración y obteniendo el caudal se determinará más adelante la cantidad de libras de azúcar perdidas en cierto tiempo asumiendo que la pérdida se mantiene constante y, con los datos de molienda que serán brindados por el ingenio, se obtendrá la cantidad de azúcar perdida por tonelada de caña molida.

Finalmente, se realiza un análisis de los resultados obtenidos en la identificación y cuantificación para que en la fase de planeación se pueda obtener recomendaciones para mejorar el proceso de molienda y lograr así disminuir las pérdidas de azúcar.

Previo a la identificación, se harán revisiones bibliográficas sobre el proceso molienda y sus equipos auxiliares para familiarizarse con el proceso del ingenio y posibles puntos de pérdida de producto.

YY. Metodología de toma de muestras y análisis de polarimetría

A continuación, se presenta la metodología utilizada por el laboratorio de calidad del ingenio azucarero para toma y análisis de muestra de pérdidas de azúcar por arrastre. Para esta investigación se realizó el mismo procedimiento. Se le llama “agua de interés” al agua de las salidas identificadas del Tándem de molino que se dirijan luego al drenaje que transporta la misma a la salida de Parshall de patio.

Procedimiento:

1. Lavar dos veces el recipiente donde se depositará la muestra con el agua de interés.
2. Tomar una cantidad suficiente de agua (arriba de 200 mL).

3. Lavar dos veces un Erlenmeyer de 300 mL con la muestra de agua recolectada.
4. Añadir 200 mL de la muestra y una cantidad mínima de Octapol. Agitar vigorosamente.
5. Filtrar la muestra en un vaso con embudo y papel filtro para retirar contaminantes como tierra y restos de Octapol.
6. Preparar un baño de hielo y llevar la muestra a una temperatura de aproximadamente 20°C.
7. Verter una pequeña cantidad de agua destilada en polarímetro para limpiar cualquier resto que haya quedado de lecturas pasadas.
8. Verter la muestra en el polarímetro y esperar a que se estabilice la lectura de este.

Al resultado obtenido se le realiza una corrección según curva de calibración del módulo de validación de métodos para determinación de concentración de sacarosa y caudal, empleados en un ingenio azucarero, usando estadística, calibraciones, análisis de diseño y revisión de procedimientos de muestreo.

AAA. Metodología de determinación de caudales en canales de agua

Se analizará el caudal en tres distintos canales del área de molienda y patio de caña; el primer canal es un canal de 62.3 cm de ancho, el agua que transporta no se eleva a más de 7 cm y normalmente su flujo es lento, el segundo canal se encuentra en patio de caña con una elevación del nivel del agua a no más de 6 cm y el tercer canal se encuentra por debajo de los conductores de caña, su nivel de agua no aumenta a más de 9 cm, sin embargo, normalmente su flujo es alto. Debido al bajo nivel de agua y fines prácticos se decidió analizar caudal según la siguiente ecuación:

Ecuación No. 7 Caudal

$$Q = A * v$$

Donde:

- A = área
- v = Velocidad (v = *distancia * tiempo*)

Medición del área

Utilizando un metro se medirá el ancho del canal y la profundidad del agua para obtener el área multiplicando ambos valores.

Medición de la velocidad

Siendo la velocidad la distancia que recorre un cuerpo en cierta cantidad de tiempo, se medirá la cantidad de tiempo que tarda en recorrer cierta distancia del canal una pelota de ping pong.

Metodología de determinación de caudales de tuberías

Se determinará el caudal de tuberías según la siguiente ecuación:

Ecuación No. 8: Caudal en tuberías

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

Para la medición de volumen se utilizará una probeta de 2L o un recipiente graduado y el tiempo se medirá con un cronómetro.

De ser posible, este procedimiento también se utilizará para medir el caudal de fugas de equipos complementarios con un recipiente de distinto volumen.

BBB. Metodología para la determinación de pérdidas de azúcar

Tras obtener los valores de caudal y concentración, se determinará la cantidad de azúcar perdida en las unidades de kilogramos por toneladas de caña molida (kg/Ton). Para esto se debe realizar las conversiones necesarias con los datos obtenidos. Para convertir a toneladas de caña molida, se utilizarán los datos de molienda brindados por el ingenio azucarero, estos resultados serán luego de utilidad para analizar el impacto económico.

CCC. Metodología para la determinación de porcentaje de pérdidas de azúcar correspondiente al Tándem B según las pérdidas totales en Parshall de patio

Tras obtener los resultados de pérdidas de azúcar en los principales canales que se dirijan luego al drenaje que transporta el agua a la salida de Parshall de patio, se realizará una comparación de las pérdidas de Parshall de patio que fueron determinadas por el ingenio azucarero a lo largo de la zafra con los resultados obtenidos de pérdidas en Tándem B de molinos.

Ecuación No. 9 Porcentaje de Pérdidas en Tandem

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{\text{Pérdidas en Tandem B} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Ton caña}} \right)}{\text{Pérdidas Parshall de patio} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Ton caña}} \right)} \times 100\%$$

DDD. Metodología para el análisis de mantenimiento de bombas

Los resultados obtenidos de pérdidas de azúcar en bombas, se realizará un análisis del mantenimiento correctivo y preventivo realizado durante la zafra en el área de molienda (Tándem B) y se investigará en fuentes bibliográficas y/o técnicas que indiquen el mantenimiento adecuado que se le debería dar a las

bombas utilizadas en el ingenio. Se concluirán recomendaciones de mejora según lo investigado y analizado del programa de mantenimiento actual.

Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña

La metodología del proyecto consiste básicamente en observación, medición y trabajo de campo. Para explicar de una mejor forma lo que se va a realizar y lo que se pretende obtener para así proporcionar las recomendaciones y conclusiones más acertadas, se dividirá la metodología en las fases de identificación, cuantificación y planeación.

Previo a la correcta identificación de las pérdidas de azúcar del sistema, será necesario familiarizarse con el proceso del ingenio, específicamente de la parte productiva y medición para poder identificar los puntos críticos de control que ayudará a aportar la mayor cantidad de recomendaciones en relación al análisis de resultados. Para poder realizar este proceso se harán revisiones bibliográficas sobre la producción de azúcar, procesos de análisis, revisión de proyectos con metodologías parecidas y visitas periódicas al ingenio para poder recibir comentarios y explicaciones por parte de los ingenieros expertos del proceso.

EEE. Identificación de flujos de entrada y salida presentes en Tándem A

Para iniciar con las mediciones, se realizó una identificación de todos los flujos de agua que entraban y salían del Tándem A de molinos, para poder identificar cuáles son las principales fuentes de pérdidas, basado en equipos. Para poder hacer este primer paso se realizó lo siguiente:

- La primera parte realizada fue la observación del equipo, se recorrió el sistema para conocer las principales entradas y salidas, al igual que se determinó cual es la fuente de las tuberías o canales encontradas. Se realizó un esquema inicial en base a las áreas bajo el alcance del proyecto.
- En la segunda parte se realizó una medición del área transversal de las tuberías, para poder realizar el cálculo de caudal.
- En el caso de los canales de caída de agua de enfriamiento, se realizó unos canales para poder aglomerar el agua y facilitar la medición.
- Se tomaron las medidas del Tándem a de molinos, bombas, caminamientos y altura.
- Se realizó un esquema de las tuberías y canales del equipo en CAD, para poder tener una mejor comprensión de las áreas.

FFF. Muestreo de flujos del Tándem A de molinos.

Para continuar y cuantificar las pérdidas se realizó el procedimiento de muestreo que se tenía establecido dentro del ingenio. Para esto se debían seguir dos partes. La primera era la toma de muestras en los canales identificados durante el mapeo del área, y el segundo era la cuantificación de las pérdidas por medio de polarimetría.

Para la primera parte se seguía el siguiente procedimiento:

- a. Se utilizó un recipiente de plástico de 800 ml previamente lavado y seco para poder depositar el fluido muestreado.
- b. Se usó una toma muestras para poder obtener muestras de los canales.
- c. Previo a moverla al laboratorio, se debía realizar un lavado del bote con la muestra.
- d. Se agregó muestra hasta tener el 50% del bote lleno.
- e. Se agitó el recipiente por 5 segundos.
- f. Se desechó el agua en el interior del recipiente en los canales de desecho.
- g. Se realizó este proceso 3 veces.
- h. Una vez hecho esto, se llenó el bote hasta el 75% y sellar el recipiente.
- i. Se movió la muestra hacia el laboratorio.
- j. Se realizó una toma de muestras para cada uno de los canales en triplicado, para poder tener una muestra representativa.

Para la segunda parte, se debía realizar la cuantificación por polarimetría. Para poder realizar esto, se tuvo una capacitación por parte del ingenio para poder entender el proceso de medida. Se siguió el siguiente método:

- a. Se tomó un volumen entre 125 ml y 250 ml y colocarlo en un Erlenmeyer de 250ml.
- b. Se agregó entre 5 y 10 g de octapol al Erlenmeyer y se agitó. (Esto es realizado para poder clarificar la muestra)
- c. Se colocó un filtro Ahlstrom, EWS-609 de 18.5cm y colocarlo sobre un embudo.
- d. Se utilizó un vaso de 250 ml en la parte inferior.
- e. Se dejó iniciar la filtración
- f. Después de aproximadamente 4 gotas, se desechó el filtrado presente en el vaso.
- g. Se colocó el vaso dentro de un baño de hielo en recipiente de plástico con de boca ancha para poder llevar la muestra a una temperatura de 20 grados centígrados se midió la temperatura utilizando un termómetro digital marca Thermo modelo TA-288
- h. Una vez llegada la temperatura, se debe ingresó la solución filtrada en el embudo de alimentación del polarímetro.
- i. Se esperó a que se mantenga la medición más estable para tomar ese número.

- j. Se agregó agua desmineralizada para llevar el equipo a 0.00°Z antes de realizar la siguiente medición.
- k. Debido a que la medición, fue hecha a 20 grados, se multiplicaron los ° Z por 2600 para poder llevarlo a PPM.
- l. Luego se utilizó la molienda total del ingenio, para poder cuantificar las pérdidas totales en base al promedio encontrado.

GGG. Identificación de flujos de entrada y salida presentes en conductores de caña.

Para iniciar con las mediciones, se tuvo que realizar una identificación de todos los flujos de agua que entran y salen de los conductores de caña en patio, para poder identificar cuáles son las principales fuentes de pérdidas, basado en equipos.

Para poder hacer este primer paso se realizó lo siguiente:

- La primera parte realizada fue la observación del equipo, se recorrió el sistema para conocer las principales entradas y salidas del equipo, al igual que se determinó cual es la fuente de las tuberías o canales encontradas. Se realizó un esquema inicial en base a las áreas bajo el alcance del proyecto.
- Se identificaron las principales áreas a medir, en base a los procesos que ocurrían en la parte superior de los conductores, se tuvieron 3. En la alimentación de caña, En la cortadora y en el lavado de tablillas.
- Para poder medir estos caudales, se realizaron unos canales de madera que limitarían el área transversal. Estos fueron de 1 m de largo para poder medir la velocidad.
- Se realizó una medición del área transversal de las tuberías, para poder calcular el caudal.
- Se tomaron las medidas de los conductores, como distancia de los canales, ancho, cantidad de inyectores de agua.
- Para medir las velocidades de flujo en los canales encontrados se utilizó un cronometro marca Casio modelo HS-3 con una incertidumbre de ± 0.13 segundos.
- Se realizó un esquema de las tuberías y canales del equipo en CAD, para poder tener una mejor comprensión de las áreas.

HHH. Determinación de aportes de pérdidas en relación a las totales del ingenio.

- a. Se determinó la pérdida de azúcar en kg/día utilizando la pérdida promedio de cada muestra multiplicado por la molienda total de ambos Tándems durante el día.
- b. Se tomaron las muestras de todos los canales que se realizaron anteriormente.
- c. Se sacó un diagrama de caja y bigote para determinar los rangos en base al promedio.
- d. Se obtuvo la desviación estándar de cada tubería.

- e. Para comparar con las pérdidas totales se utilizó la molienda total del ingenio y las pérdidas reportadas en parshall de patio.
- f. Se realizó un rango de pérdidas basado en la desviación estándar de los datos para poder encontrarse dentro del rango permitido.

III. Realización de los reportes de seguimiento.

Para poder hacer los reportes, se visitó primero a los encargados de bombas, para poder alienar los documentos que se tenían actualmente y los reportes que se manejaban.

Durante las visitas, los encargados compartieron el inventario de bombas y el Excel de seguimiento que se tenía, donde se utilizaba el número de inventario para poder asociar las reparaciones.

Para poder hacer los seguimientos se tuvo que realizar lo siguiente:

- a. Se revisó los documentos que se tienen de mantenimiento
- b. Se realizó una revisión del estado de las bombas.
- c. Se utilizó el documento que se utiliza actualmente en el ingenio.
- d. Se tomó en cuenta el inventario compartido para preparar los documentos.
- e. Se tuvo que tomar en cuenta el costo de reparación.

Para poder llenar el reporte se hace lo siguiente:

- a. Se utilizó la información compartida por el equipo de revisión.
- b. Se llenó la primera página del reporte.
- c. Se revisó que exista el artefacto de reparación en inventario.
- d. Se colocó el código y costo de piezas de reparación.
- e. Se actualizaron las tablas.
- f. Se revisaron los resúmenes de costos y modificaciones por cada una de las bombas, ya sea de maceración o jugo claro.
 - 1. Se realizó cronograma de revisión de bombas.
 - a. El cronograma fue creado en base a los tiempos de reparación.
 - b. Se alinearon que los tiempos se tomen como muertos en el reporte general del ingenio.

Para utilizar el reporte, se deben seguir las siguientes instrucciones:

- a. Se seleccionó la semana en la que se quiere ver el cronograma.
- b. Se revisó la pestaña con la fecha propuesta.
- c. Para ver detalles de funciones diarias, se utilizó la pestaña de “turnos” y seleccionó al cual cada persona pertenece.

d. Se llenó el formato adjunto en la pestaña de “observaciones” para compartir con el área de mantenimiento y se siga el proceso de mantenimiento.

JJJ. Análisis estadístico

Se realizaron promedio de los resultados obtenidos de parámetros de pérdidas de azúcar en el Tándem A de molinos y conductores de caña.

Ecuación No. 10: Promedio de resultados

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$$

Se hizo el cálculo de las desviaciones estándares de las pérdidas de azúcar promedio en Tándem A de molinos y conductores de caña. Con esto se realizaron los máximos y mínimos de pérdidas.

Ecuación No. 11. Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Con los datos obtenidos de las pruebas realizadas se utilizó el software GeoGebra para realizar diagramas de caja y bigote para las pérdidas totales del ingenio y los promedios de cada tubería analizada.

a. Materiales y equipo

Los materiales que se utilizaron para desarrollar el módulo fueron los siguientes:

Cuadro No.5 Lista de materiales y equipos usados

Actividad	Material	Cantidad
Mediciones para diseño de propuestas	Cinta Métrica	1 metro
Fotografías para documentación de propuestas	Celular	N/A
Muestra de producto final matajuntas	Matajuntas de hierro negro	1
Muestra de producto final camisa	Camisa de acero	1
Muestra producto final bandejas	Bandeja de hierro negro	1

KKK. Herramientas

Cuadro No.6 Cuadro de herramientas empleadas en el trabajo

Actividad	Herramienta
Diseño de propuestas	AutoCAD para realizar los diagramas de las propuestas.
Planeación de Megaproyecto	Project Libre para realizar el cronograma del proyecto.
Documentación de procesos de propuestas	Draw.io para realizar la estructura de trabajo de cada objetivo.
Análisis Crítico para las propuestas	Microsoft Excel para realizar tabla con situación actual e ideal.
Realización de lluvia de ideas	CmapTools para diseñar las lluvias de ideas.
Plantilla de costeo	Microsoft Excel para la plantilla realizada para el cálculo de costos de implementaciones.

A. Metodología para realizar bosquejos de las propuestas

Es importante mencionar que la finalidad de esta metodología es obtener un diseño preliminar que cumpla con los requerimientos necesarios para cada propuesta y que de forma visual brinde una amplia idea sobre el producto final propuesto que se quiere implementar para eliminar el problema detectado.

Además de brindar una idea visual sobre el diseño del producto final a implementar, esta metodología es de alta importancia ya que proporciona una comparación gráfica de la situación actual del área con la situación ideal ya con la propuesta implementada. Esto para poder entender mejor lo que se quiere implementar y el cambio que se hará. El “Sketch” de cada propuesta debe cumplir con los mismos requerimientos, los cuales son los siguientes:

1. Medidas de diseño
2. Espacio definido
3. Diseño elaborado en AutoCAD

A continuación, se detalla la metodología que se empleó para realizar el “Sketch” de todas las propuestas. Es importante mencionar que en algunos pasos fue importante especificar lo que se hizo para cada propuesta determinada.

1. Realización de visitas al ingenio para entender el proceso de filtración para el jugo de caña, el proceso de trituración, el funcionamiento de máquinas conductores, el funcionamiento y tipos de bombas, el proceso de molienda y el proceso de refinería.
2. Realización de un diagrama de Ishikawa para entender las causas del problema en el equipo de Cush Cush, de las pérdidas de azúcar en los conductores de caña, de las fugas de jugo de caña en las bombas y de las fugas de “magma de azúcar” en las bombas.
3. Elaboración de lluvias de ideas para obtener soluciones a los problemas mencionados en el paso anterior.
4. Obtención de retroalimentación del ingeniero a cargo de cada área (molinos, patios y refinería) para asegurar que los diseños propuestos cumplan con los requerimientos del área respectiva.
5. Consulta con operarios para analizar sus opiniones sobre el diseño de la propuesta y la viabilidad de la instalación o implementación.
6. Realización de mediciones junto a los operarios de área:
 - a) En el caso de la propuesta No.1, se obtuvieron las medidas del espacio definido donde se debe instalar la ventanilla movable propuesta para evitar el salpicado del jugo de caña.
 - b) En el caso de la propuesta No.2, se obtuvieron las medidas del lugar definido en el conductor en donde irán las matajuntas propuestas que eviten la caída de caña.
 - c) En el caso de la propuesta No.3, se consiguió una camisa de muestra del mismo tipo que usan actualmente las bombas para anotar sus dimensiones.
 - d) En el caso de la propuesta No.4, se consiguió una bandeja de muestra para registrar sus dimensiones.
7. Realización de “sketch” preliminar en AutoCAD de cada propuesta, en base a las opiniones y mediciones obtenidas con anterioridad.
8. Realización de un análisis crítico sobre la situación actual respecto a la situación ideal ya con el producto final implementado.
9. Comparación gráfica sobre la situación actual y la situación ideal con el producto final implementado (Esto no se realizó para la propuesta No.3).

Por medio de esta metodología lo que se logra para la propuesta No.1 es el “sketch” preliminar sobre la ventanilla movable que se quiere implementar en el equipo de Cush Cush, evitando el salpicado de jugo de caña. De este modo se adquiere como resultado, una idea visual de lo que se quiere implementar. Para la propuesta No.2, se proporciona al encargado del área de patios del ingenio el “sketch” preliminar de las matajuntas que se quiere implementar para evitar el desperdicio de caña en los conductores.

Por otro lado, para la propuesta No.3, al ser un cambio de camisas en tres bombas del Tándem A en el área de molinos, fue necesaria la referencia de una muestra de camisa antigua. En esta propuesta, este objetivo más que hacer un bosquejo de la camisa requerida, tuvo la finalidad de identificar qué tipo de camisa es la requerida en la bomba B32, B33 y B34. Por último, como resultado para la propuesta No.4 se logra obtener el “sketch” preliminar de las bandejas captadoras de excesos de “magma de azúcar” en las bombas

de refinería. Este diagrama proporciona una idea visual al encargado de área, de la forma y las medidas requeridas que la bandeja debe tener tomando en cuenta el espacio disponible por debajo de las bombas.

b. Metodología para obtener los costos de los materiales a utilizar.

Es importante mencionar que la metodología consta de ciertas características para que pueda cumplirse con el objetivo. Tales características son:

1. Descripción de materiales
2. Cantidad de materiales
3. Costos de materiales
4. Tipo de materiales

A continuación, se muestra la metodología que se usó para la obtención de costos de los materiales requeridos para poder implementar cada una de las propuestas. Sin embargo, es importante mencionar que para la propuesta No. 4, al no requerir compra de materiales para implementarla, no se siguieron los pasos 4, 5 y 6.

1. Investigación de las condiciones de exposición del ambiente para cada propuesta.
2. Obtención de recomendaciones del ingeniero a cargo del área (molinos, patios y refinería) sobre materiales utilizados en proyectos anteriores y opiniones de los operarios en base a experiencia.
3. Determinación de los tipos y cantidad de materiales más pertinentes para realizar cada propuesta cumpliendo con las necesidades requeridas, en base a los resultados anteriores.
4. Obtención de costos. Por ser materiales de uso frecuente, se obtuvieron los costos de cada material por el sistema interno del ingenio "SIGES", que es alimentado por el área de almacén.
 - a. Para la propuesta No.2 el ingeniero a cargo obtuvo los costos a través del departamento de compras con proveedores ajenos al ingenio.
5. Cálculo de los costos totales que conllevan los materiales.
 - b. Con las cantidades y costos obtenidos en los pasos anteriores, se determina el costo total de los materiales.
6. Cálculo de los costos totales que conllevan los materiales.
7. Realización de gráfico circular en Excel, sobre el porcentaje que representa los materiales del costo total de la implementación en base al costo total de cada propuesta.

c. Metodología para obtener los costos de mano de obra

El objetivo No.3 del módulo consiste en obtener el costo de la mano de obra necesaria para implementar las diferentes propuestas en los lugares definidos. Con el seguimiento de esta metodología se obtendrá los costos

totales que cada propuesta incurrirá en mano de obra y también el porcentaje que representarán del costo total de la implementación por propuesta.

Es importante mencionar que únicamente la propuesta No.3 involucra fabricación de materiales por lo que se siguió el mismo procedimiento tanto para la mano de obra implicada en la fabricación como en la instalación. Los pasos adicionales se especifican entre el procedimiento y se indica a qué propuesta pertenecen. A continuación, se desglosa la metodología usada para la obtención de costos de mano de obra:

1. Obtención de recomendaciones del ingeniero a cargo del área (molinos, patios y refinería) para determinar el tipo de mano de obra necesaria para implementar cada propuesta.
2. Determinación del tiempo estimado para implementar cada propuesta en base a la experiencia previa de los operarios.
3. Determinación del costo por unidad de tiempo de la mano de obra requerida para la implementación de las propuestas. Esto se realizó según la clasificación salarial de rangos de empleados del ingenio.
 - a. Para la propuesta No.3 fue necesaria, además de la implementación, la fabricación de la camisa a implementar por lo que también se tomó en cuenta este costo en la mano de obra. Para determinar este costo, se obtuvo información en el taller de metalúrgica del ingenio sobre los operarios necesarios para la fabricación de este tipo de camisa.
4. Cálculo del costo total de mano de obra para implementar para cada propuesta.
5. Realización de un gráfico circular sobre el porcentaje que representa el costo de la mano de obra del costo total por propuesta.

d. Metodología para la estandarización del proceso de costeo

A continuación, se describen los pasos que se tomaron en cuenta para documentar el proceso estandarizado propuesto al ingenio:

- Determinación de factores indispensables como diseño, materiales y mano de obra para el cálculo del costo total de una implementación.
- Identificación de factores para el proceso de elaboración de un “sketch”:
- Etapa de observación: Se determinan las causas del problema y se proponen soluciones que por medio de un diagrama de Ishikawa y una lluvia de ideas.
- Etapa de evaluación: Decidir la solución en base a las propuestas.
- Etapa de ejecución: Mediciones del lugar y realización posterior del bosquejo en un software de diseño asistido como AutoCAD.
- Identificación de factores para el proceso de costeo de materiales:
- Etapa de investigación: Se analiza las condiciones del lugar propuesto a implementar y se obtiene sugerencias de encargados sobre los posibles materiales.

- Etapa de evaluación: Según la etapa de investigación, se determina los tipos de materiales requeridos para la implementación.
- Etapa de costeo: Se cotiza por medio de “SIGES” cuando los materiales se pueden obtener en el área de almacén. Se cotiza por medio del departamento de compras con proveedores externos cuando los materiales son muy específicos y no se tienen internamente.
- Identificación de factores para el proceso de costeo de mano de obra:
- Etapa de investigación:
- Se establece el tipo de mano de obra según la naturaleza de la implementación.
- Investigación del rango salarial por unidad de tiempo del personal encargado a implementar en el departamento de recursos humanos.
- Determinación del tiempo requerido para la fabricación de materiales de la propuesta, a través de preguntas a los operarios sobre su estimación de tiempo a necesitar.
- Determinación del tiempo requerido para la implementación de la propuesta, a través de preguntas a los operarios sobre su estimación de tiempo a necesitar.
- Etapa de Costeo: Se calcula el costo total de mano de obra, el cual es el producto del rango salarial de la mano de obra por unidad de tiempo investigado y el tiempo determinado para la implementación y fabricación de materiales (si aplica).
- Realización de un manual de procedimiento donde se documentan los pasos anteriores a mayor profundidad.
- Realización de un DOP del proceso de costeo para implementaciones similares a las analizadas en el trabajo.
- Este DOP se realiza según las similitudes identificadas en el proceso de costeo realizado por las cuatro propuestas.
- Realización de un EDT del proceso de costeo para implementaciones similares a las analizadas en el trabajo.
- Se toma de referencia el DOP para entender las actividades claves y el desglose del proceso para lograr el objetivo principal el cual es el costo total de la propuesta.

e. Gestión de actividades y recursos utilizados en el Megaproyecto

La metodología del siguiente objetivo consiste en planificar y orientar los procesos desde el inicio hasta la culminación del proyecto. Para esto es necesario llevar un seguimiento de las actividades, tiempos, responsabilidades, estructuras de trabajo, documentaciones y otros, del proyecto.

Es importante mencionar que esta metodología explica los pasos y aspectos que se realizaron para poder ser el “Project Manager” del proyecto y cumplir con la gestión y administración del proyecto. Este procedimiento se divide en las siguientes cinco etapas:

1. Etapa de iniciación
 - a. Documentación de un acta de constitución del Megaproyecto.
 - b. Documentación de los participantes del proyecto.

2. Etapa de planeación
 - a. Realización de un EDT y se estableció el objetivo del proyecto.
 - b. Realización de un diagrama de Gantt para el proyecto.
 - c. Realización de una matriz de responsabilidades

3. Ejecución
 - a. Realización de una matriz de riesgos presentados.

4. Seguimiento y control
 - a. Documentación del desarrollo del proyecto por medio de minutas de reuniones y revisiones de cumplimiento al Gantt.

5. Cierre
 - a. Realización de un nuevo EDT final para comparar con el inicial.
 - b. Realización de un documento de cierre del proyecto.

f. Investigación de campo

Para la realización del análisis económico comparativo se usó datos obtenidos por el grupo de trabajo que, posteriormente, serían trasladados hacia la parte económica y así, fuera posible reflejar el desperdicio causado por las pérdidas medidas dentro de la fábrica en los puntos de interés.

La metodología para la obtención de los datos correspondientes al Tándem A es posible encontrarla en el módulo denominado como “Determinación y cuantificación de las pérdidas de azúcar presentes en el Tándem A de molinos y conductores en el patio de caña, utilizando el método de polarimetría y medición de caudales; para establecer el aporte de este Tándem a las pérdidas totales presentes en el canal parshall de patio”, por otro lado, los datos del Tándem B se encuentran en el módulo denominado como “Determinación de pérdidas de azúcar por arrastre en Tándem B de molinos y conductores de patio de caña, midiendo concentración de sacarosa por polarimetría y caudales en puntos de descarga de agua” y, por último, los datos correspondientes al área de la refinería están localizados en el módulo denominado como “Identificación de los puntos críticos de pérdida de azúcar dentro de la fábrica de un ingenio azucarero realizando mediciones de concentración y caudal para brindar una recomendación pertinente que disminuyan la pérdida más

importante”. Estos datos serán utilizados como la base para poder calcular la pérdida económica que se está teniendo en cada punto de interés siendo proyectada hacia toda la zafra 2017-2018, es decir, representando la cantidad de quetzales que se perdieron durante toda esta. Es posible visualizar los datos completos a partir del Cuadro No.28 en la sección de Anexos

Posterior a esto, se investigó el precio de la libra de azúcar en el mercado internacional (US\$/lb) y se publica por varios entes azucareros en su página Web tales como “sugar online”, la de CENGICANA y la del MAGA entre otras, así mismo, este puede ser encontrado en portales financieros que plasman dicha información en tiempo real tales como “Investing” o “Bloomberg” entre otros.

Tras obtener este dato, se procedió a multiplicar la pérdida total obtenida a lo largo de los días en que se realizó el muestreo por el precio de la libra de azúcar en el mercado internacional, para este trabajo en específico se utilizó el precio promedio de la libra de azúcar que estuvo fluctuando durante todos los meses de la zafra 2017-2018, es decir, de noviembre 2017 a abril 2018, tal y como se muestra en la Ecuación No. 12. Los datos del precio del azúcar utilizados es posible visualizarlos en el Cuadro No.241 de los anexos.

Ecuación No. 12: Pérdidas de azúcar expresada en dólar estadounidense por telada de caña

$$\text{Pérdida de azúcar (lb/t)} * \text{Precio del azúcar (USDcent/lb)}$$

De esta forma, se obtiene el dato expresado en dólar estadounidense por telada de caña. Posterior a esto, para obtener la pérdida de azúcar expresada en dólares estadounidenses solamente, se procede a multiplicar el dato obtenido previamente por la cantidad de teladas que molió el ingenio azucarero durante toda la zafra en el área en donde se determinó la pérdida para que así, se represente la pérdida económica a lo largo de toda la misma. En el caso del presente trabajo, para los puntos que correspondían al Tándem A, se utilizó la cantidad de teladas que molió el ingenio durante toda la zafra del mismo Tándem haciendo uso de la Ecuación No. 13. Los datos correspondientes a la molienda del ingenio durante la zafra 2017-2018 es posible visualizarlos en el Cuadro No.207, 223 y 215 de los anexos

Ecuación No.13: Pérdida de azúcar expresada en dólares estadounidenses

$$\text{USD/t} * \text{toneladas molidas por el ingenio en el punto de interés (t)}$$

De esta forma se obtiene el dato de la pérdida de azúcar trasladado a dólares estadounidenses. Como última parte, para expresar dicha cantidad en la moneda local, en este caso en quetzales, se debe de multiplicar por el tipo de cambio del día (Ecuación No. 14), en el caso de Guatemala, este dato es emitido de manera diaria por el Banco Central de Guatemala. Para el presente trabajo se utilizó el promedio del tipo de cambio diario que estuvo fluctuando durante los 151 días de la zafra 2017-2018, dicha tabla es posible visualizarla en los Cuadros No. 206, 222, 214 de los anexos.

Ecuación No. 14: Pérdida de azúcar expresada en quetzales.

$$USD * GTQ$$

Se obtuvo la pérdida de azúcar en cada uno de los puntos de interés obtenida a lo largo de la zafra 2017-2018, expresada en la moneda local. Cabe mencionar que el dato obtenido en esta parte se utilizó como parámetro de comparación con el costo total de implementación de cada una de las propuestas descritas posteriormente y así, determinar la viabilidad de imposición de cada una de estas dentro de la fábrica del ingenio azucarero.

Posteriormente, se procedió a determinar qué porcentaje representan las pérdidas obtenidas por parte del equipo de trabajo de las pérdidas que registró el ingenio durante los días en que se tomaron las distintas muestras dentro de la fábrica en los puntos de interés delimitados.

Para esto, como se puede observar en los Cuadros No. 208, 211, 213, 215, 218, 224, 227, 233, 235 y 237 se obtuvieron las pérdidas que registró el ingenio a lo largo de toda la zafra expresadas en libra por telada de caña, y de esta manera se dividió la pérdida de azúcar reportada por parte del equipo de trabajo, dentro de la pérdida reportada por el ingenio para que, por último, se multiplicara ese dato por cien, y así obtener el porcentaje mencionado anteriormente.

Ecuación 15: Porcentaje que representan las pérdidas de azúcar medidas por el equipo de trabajo de las que fueron reportadas por el ingenio en los días de muestro.

$$(lb/t(Pérdidas UVG))/(lb/t(Pérdidas Ingenio)) * 100\%$$

Por último, se obtuvo el sumatorio total de estos porcentajes en cada uno de los puntos de interés identificados tal y como se muestra en el área de cálculos dentro de los anexos.

g. Análisis de rentabilidad

Luego de obtener la pérdida de azúcar expresada en la moneda local para cada uno de los puntos de interés, se determinó que esta serviría, como parámetro de decisión para determinar si es viable o no implementar cada una de las propuestas brindadas hacia el ingenio azucarero comparando dicho dato con el costo total de implementar cada una de las propuestas obtenido por parte de la división industrial del equipo de trabajo.

Como se mencionó, la metodología para la obtención de los datos correspondientes al costo de realización e implementación de las propuestas es posible encontrarlo en el módulo denominado como “Realización de un análisis de costos y documentación de proceso para las implementaciones de las

propuestas para la reducción de pérdidas de azúcar dentro de la fábrica de un ingenio azucarero”. Estos datos, serán utilizados como parámetro de comparación entre la pérdida de azúcar obtenida en cada punto y el costo incurrido, y así, determinar la viabilidad de cada una de estas propuestas bajo la premisa de que se acepta como viable si el costo de producir e implementar la misma, es menor a la pérdida que se obtuvo en el mismo punto que se está estudiando.

Ecuación No.16: Viabilidad de la implementación de las propuestas.

Si:

Costo de producción de la propuesta < Pérdida obtenida en GTQ

Entonces → Propuesta Viable

h. Diagrama de bloques

Como se mencionó, este apartado fue construido en conjunto con el ingeniero industrial, por lo que el diagrama de bloques está dividido en dos partes, la metodología para su elaboración en la obtención del costeo de la propuesta a implementar se encuentra en el módulo definido como “Realización de un análisis de costos y documentación de proceso para las implementación de las propuestas para la reducción de pérdidas de azúcar dentro de la fábrica de un ingenio azucarero” y fue usada en este caso para complementar el diagrama como tal, siendo esta la parte inicial.

Se realizó para el desarrollo de la parte financiera del diagrama de bloques fue resumir aquellos pasos que se siguieron tanto en el análisis económico comparativo y en el análisis de rentabilidad para que de esta manera, se puede obtener la pérdida de azúcar en el área de interés expresada en dólares estadounidenses y la moneda local y, poder saber contra qué parámetro este dato estaría siendo comparado para poder determinar su viabilidad antes de que sea puesta dentro de la fábrica.

A continuación, se enlistan dichos pasos que fueron utilizados:

Obtención de la pérdida de azúcar expresada en libra por telada de caña.

Este dato, como se mencionó en su respectivo apartado, fue obtenido por parte de los ingenieros químicos del equipo de trabajo y es posible visualizar las pérdidas obtenidas en los anexos.

Determinación del precio de la libra de azúcar en el mercado internacional.

Multiplicación de los dos datos previos para obtener la pérdida de azúcar en dólar estadounidense por telada de caña.

Determinación de las teladas molidas por el ingenio en el área de interés para el trabajo o la propuesta que se está implementando.

Multiplicación del dato anterior expresado en dólar estadounidense por telada de caña, por la cantidad de teladas determinadas.

Obtención de la pérdida de azúcar en dólares estadounidenses

Si es necesario, se debe de multiplicar por el tipo de cambio actualizado a la moneda en que se desea expresar la pérdida de azúcar

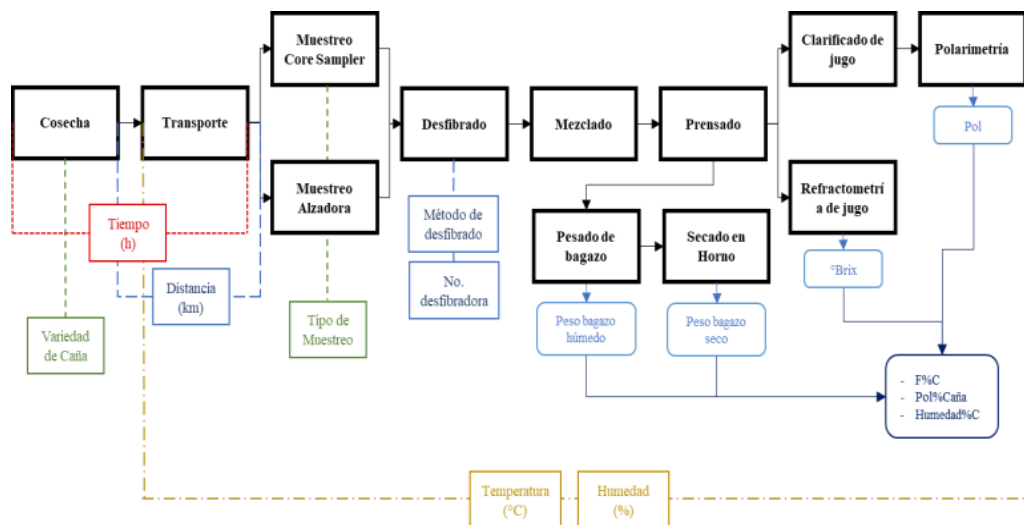
Tras seguir estos pasos, se procede a comparar la pérdida obtenida en la moneda deseada con el costo obtenido para la realización e implementación de la nueva propuesta y determinar, con base en el parámetro mencionado anteriormente donde se decía que una propuesta es viable si el costo que incurre la misma es menor a la pérdida monetaria que se obtuvo en el punto de interés, si es o no, viable la misma.

d) Resultados

Propuestas de mejora en muestreo de jaulas de caña

a. Determinación del proceso de muestreo de las jaulas de caña

Figura No.35 Metodología de todo el proceso de muestreo de las jaulas de caña de azúcar desde el proceso de cosecha en el campo hasta la obtención de los resultados en el laboratorio de patio de caña



b. Determinación de las variables críticas

Cuadro No.7 Resultado del análisis de regresión factorial para los factores con mayor contribución a la variable respuesta porcentaje de Pol en la caña por el método de Minitab.

Análisis de regresión		
	Definición / Pruebas	Conclusiones del estudio
Definición del modelo	Variable de respuesta	Pol%C (Porcentaje de pol en Caña)
	Factores	Variedad, Rango temperatura, Rango Distancia
	Ecuación	$12.873 - 2.021(\text{CG00-033}) - 0.672(\text{CG00-102}) + 1.159(\text{CG02-163}) + 1.072(\text{CG98-10}) - 0.875(\text{CG98-46}) + 0.763(\text{CG98-78}) + 0.745(\text{CP72-2086}) - 0.210(\text{CP73-1547}) + 0.468(\text{CP88-1165}) - 0.718(\text{SP71-6161}) + 0.290(\text{VARIAS}) - 0.897(\text{Rango de T}_1) - 0.611(\text{Rango de T}_2) + 0.476(\text{Rango de T}_3) + 0.346(\text{Rango de T}_4) + 0.491(\text{Rango de T}_5) + 0.195(\text{Rango de T}_6) - 0.469(\text{Rango distancia}_1) + 0.006(\text{Rango distancia}_2) + 0.463(\text{Rango distancia}_4)$
Pruebas	Significancia de la regresión (Anova)	La regresión no es significativa
	Significancia de c/termino (T de student)	Para las variedades CG00-033, CG02-163, CG98-10, CG98-46, CG98-78, CP72-2086; todos los rangos de temperatura excepto el cuarto rango (28.75-29.63°C) y el sexto rango (30.52 - 31.40°C) y los rangos de distancia 1 (33.3 - 53.3 Km) y el rango 4 (90.45 - 109.50 KM), tienen valores de p menores a 0.05 . El resto no son significativos.
	Coef de Determinación R ² o R ² adj	El R ² solo describe el 30% del comportamiento
	Falta de ajuste (LOF)	El valor p de la falta de ajuste es menor que 0.05 (0) por lo que no explica adecuadamente el Pol%C.
	Observaciones Influyentes (D-Cook)	El valor D-Cook para cada valor es menor a 1 por lo que no hay observaciones influyentes

*Resumen del análisis factorial obtenido de Minitab para los factores identificados como significativos para la variable respuesta del Porcentaje de Pol en la caña con diversos análisis estadísticos (T-Student, R2, LOF y D-Cook) para comprender si los resultados son confiables y determinar si la ecuación se apega al resultado, para poder corregir la cantidad de azúcar en las muestras de caña obtenidas en el laboratorio.

Cuadro No.8 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable Grados Brix por el método de Minitab.

Análisis de regresión		
	Definición / Pruebas	Conclusiones del estudio
Definición del Modelo	Variable de Respuesta	Grados Brix
	Factores	Variedad, Rango temperatura, Rango Distancia
	Ecuación	$18.348 - 1.545(\text{CG00-033}) - 1.409(\text{CG00-102}) + 0.736(\text{CG02-163}) + 0.857(\text{CG98-10}) - 1.078(\text{CG98-46}) + 0.712(\text{CG98-78}) + 0.598(\text{CP72-2086}) + 0.887(\text{CP73-1547}) + 0.391(\text{CP88-1165}) - 0.550(\text{SP71-6161}) + 0.402(\text{VARIAS}) - 1.265(\text{Rango de T}_1) - 0.821(\text{Rango de T}_2) + 0.589(\text{Rango de T}_3) + 0.347(\text{Rango de T}_4) + 0.776(\text{Rango de T}_5) + 0.375(\text{Rango de T}_6) - 0.573(\text{Rango distancia}_1) + 0.045(\text{Rango distancia}_2) + 0.528(\text{Rango distancia}_4)$
Pruebas	Significancia de la regresión (Anova)	La regresión no es significativa
	Significancia de c/termino (T de student)	Para las variedades CG00-033, CP88-1165 y Varias; el cuarto rango (28.75-29.63°C) y el rango 2 (52.35 - 71.40 KM), tienen valores de p mayores a 0.05, por lo que no son significativos.
	Coef de Determinación R ² o R ² adj	El R ² solo describe el 29.21% del comportamiento
	Falta de ajuste (LOF)	El valor P para la falta de ajuste es menor a 0.05 (0), por lo que el modelo no explica adecuadamente el Brix
	Observaciones Influyentes (D-Cook)	El valor D-Cook para cada valor es menor a 1 por lo que no hay observaciones influyentes

*Resumen del análisis factorial obtenido de Minitab para los factores identificados como significativos para la variable respuesta de los grados Brix en la caña con diversos análisis estadísticos (T-Student, R2, LOF y D-Cook) para comprender si los resultados son confiables y determinar si la ecuación se apega al resultado, para, inicialmente corregir el resultado de los grados Brix y luego corregir la cantidad de azúcar en las muestras de caña obtenidas en el laboratorio.

Cuadro No.9 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable peso de torta húmeda por el método de MINITAB.

Análisis de regresión		
	Definición / Pruebas	Conclusiones del estudio
Definición del modelo	Variable de respuesta	Peso torta húmeda
	Factores	Variedad, Rango temperatura
	Ecuación	$149.17 + 9.93(\text{CG00-033}) - 5.39(\text{CG00-102}) - 8.26(\text{CG02-163}) + 1.56(\text{CG98-10}) - 9.40(\text{CG98-46}) + 0.90(\text{CG98-78}) + 1.48(\text{CP72-2086}) - 1.35(\text{CP73-1547}) - 1.25(\text{CP88-1165}) + 6.88(\text{SP71-6161}) + 4.9(\text{VARIAS}) - 8.20(\text{Rango de T}_1) - 4.57(\text{Rango de T}_2) + 2.2(\text{Rango de T}_3) + 0.67(\text{Rango de T}_4) + 4.38(\text{Rango de T}_5) + 5.51(\text{Rango de T}_6)$
Pruebas	Significancia de la regresión (Anova)	La regresión no es significativa
	Significancia de c/termino (T de student)	Para las variedades CG00-033, CG00-12, CG98-10, CG98-78, CP73-1547, CP88-1165 y los rangos tres (27.5 -27.67°C) y cuatro (27.67-28.2°C)
	Coef de determinación R ² o R ² adj	El R ² solo describe el 27.03% del comportamiento
	Falta de ajuste (LOF)	El valor P para la falta de ajuste es menor a 0.05 (0), por lo que el modelo no explica adecuadamente el Peso de Torta Húmeda

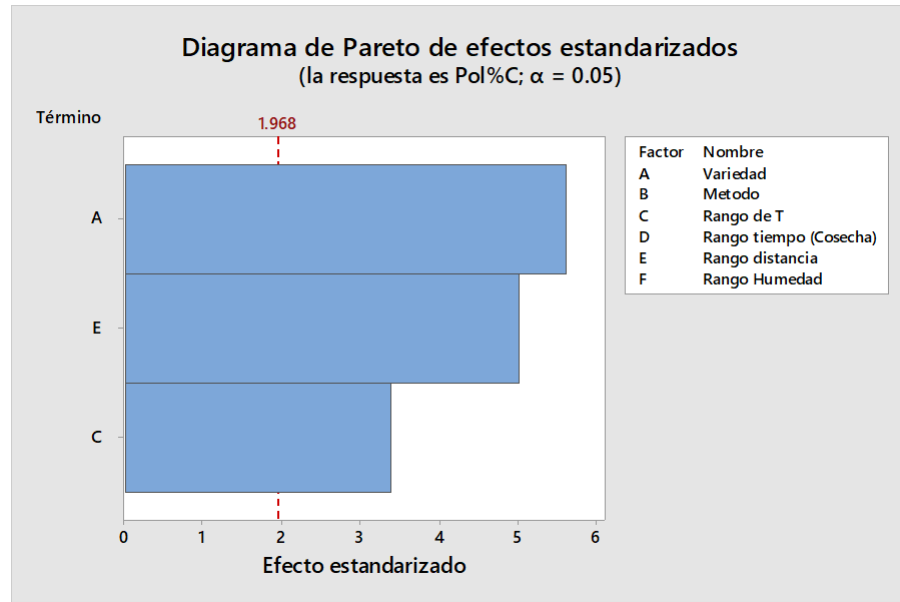
*Resumen del análisis factorial obtenido de Minitab para los factores identificados como significativos para la variable respuesta Peso de Torta Húmeda (PTH) en la caña con diversos análisis estadísticos (T-Student, R2, LOF y D-Cook) para comprender si los resultados son confiables y determinar si la ecuación se apega al resultado, inicialmente corrigiendo el resultado del Peso de Torta Húmeda y luego corregir la cantidad de azúcar en las muestras de caña obtenidas en el laboratorio.

Cuadro No.10 Resultado del análisis de regresión factorial completo para los factores con mayor contribución a la variable Porcentaje de Fibra en la Caña por el método de MINITAB.

Análisis de regresión		
	Definición / Pruebas	Conclusiones del estudio
Definición del modelo	Variable de respuesta	Porcentaje de fibra en caña
	Factores	Variedad, Rango temperatura
	Ecuación	$13.392 + 0.969(\text{CG00-033}) - 0.296(\text{CG00-102}) - 0.781(\text{CG02-163}) + 0.009(\text{CG98-10}) - 0.689(\text{CG98-46}) - 0.021(\text{CG98-78}) + 0.076(\text{CP72-2086}) - 0.160(\text{CP73-1547}) - 0.215(\text{CP88-1165}) + 0.678(\text{SP71-6161}) + 0.430(\text{VARIAS}) - 0.617(\text{Rango de T}_1) - 0.322(\text{Rango de T}_2) + 0.132(\text{Rango de T}_3) + 0.018(\text{Rango de T}_4) + 0.323(\text{Rango de T}_5) + 0.465(\text{Rango de T}_6)$
Pruebas	Significancia de la regresión (ANOVA)	La regresión no es significativa
	Significancia de c/termino (T de student)	Para las variedades CG00-033, CG00-102, CG98-10, CG98-78, CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165 y los rangos de temperatura dos (26.65-27.5°C) tres (27.5 -27.67°C) y cuatro (27.67-28.2°C) tienen valores P mayores a 0.05, por lo que no son significativos.
	Coef de determinación R ² o R ² adj	El R2 solo describe el 16.23% del comportamiento
	Falta de ajuste (LOF)	El valor P para la falta de ajuste es menor a 0.05 (0), por lo que el modelo no explica adecuadamente el Porcentaje de Fibra en la Caña.

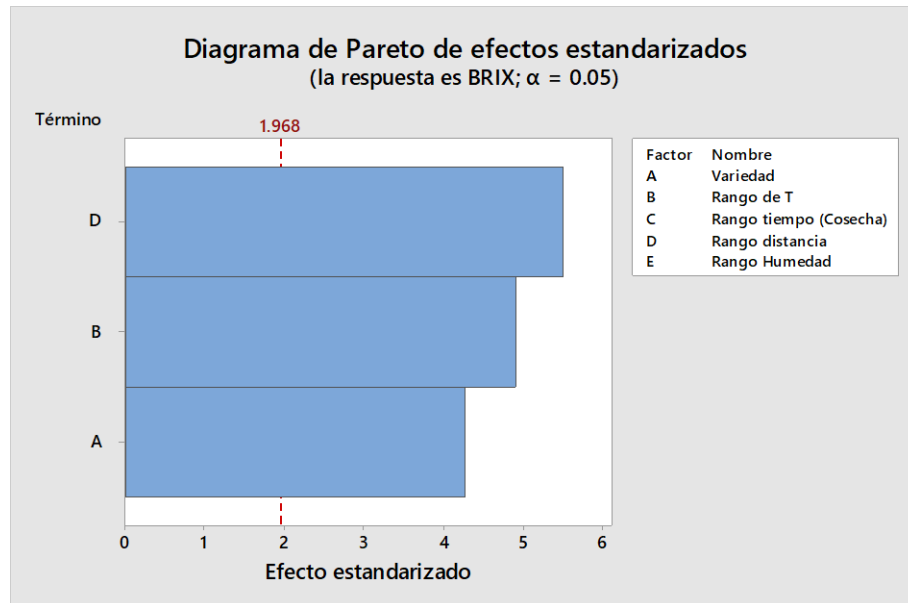
*Resumen del análisis factorial obtenido de Minitab para los factores identificados como significativos para la variable respuesta Porcentaje de Fibra en la caña (F%C) con diversos análisis estadísticos (T-Student, R2, LOF y D-Cook) para comprender si los resultados son confiables y determinar si la ecuación se apega al resultado, inicialmente corrigiendo el resultado de forma directa del Porcentaje de Fibra en la caña y luego corregir el porcentaje de azúcar en la caña en las muestras obtenidas en el laboratorio

Figura No. 36: Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el porcentaje de Pol en la caña obtenido del Software Minitab.



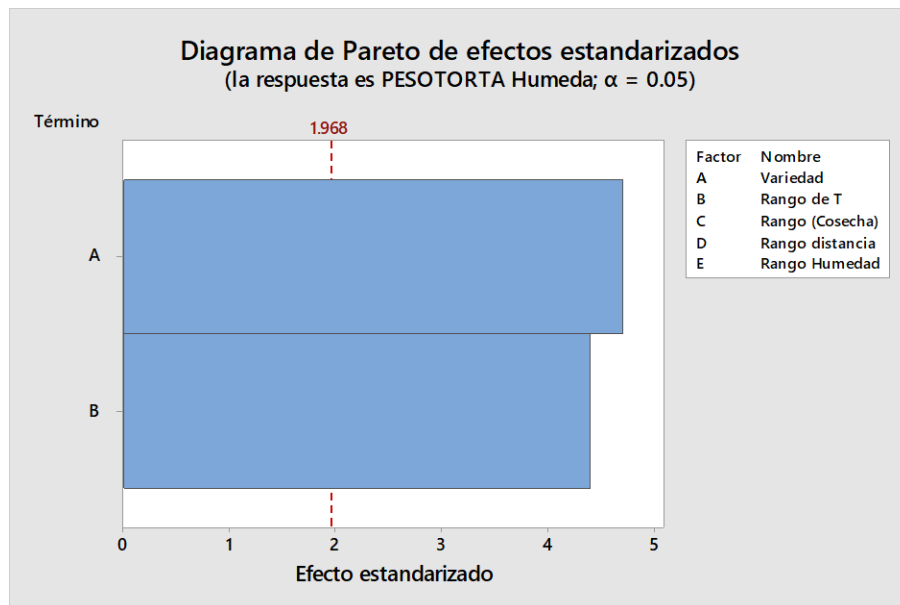
*Diagrama de Pareto obtenida en del análisis factorial de Minitab, luego de la limpieza y corrección de variables. Utilizada para la identificación visual de los factores significativos sobre la variable respuesta Porcentaje de Pol en la caña (Pol% C).

Figura No. 37 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para los grados Brix en la caña obtenido del Software Minitab.



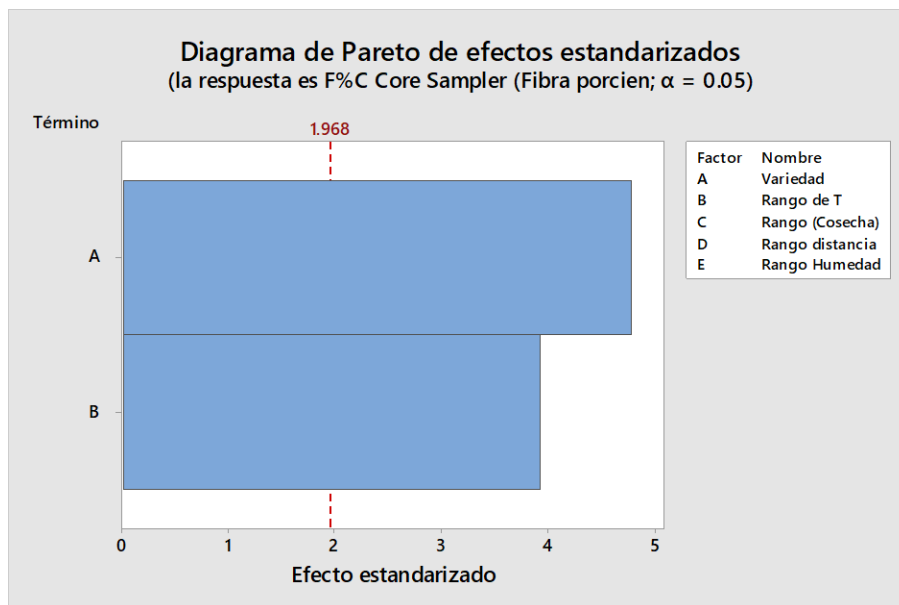
* Diagrama de Pareto obtenido en del análisis factorial de Minitab, luego de la limpieza y corrección de variables. Utilizada para la identificación visual de los factores significativos sobre la variable respuesta de los grados Brix en la muestra (°Brix).

Figura No. 38 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el peso de Torta Húmeda en la caña obtenido del Software Minitab.



* Diagrama de Pareto obtenido en del análisis factorial de Minitab, luego de la limpieza y corrección de variables. Utilizada para la identificación visual de los factores significativos sobre la variable respuesta del Peso de Torta Húmeda (PTH).

Figura No. 39 Diagrama de Pareto para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el porcentaje de fibra en la caña obtenido del software Minitab.



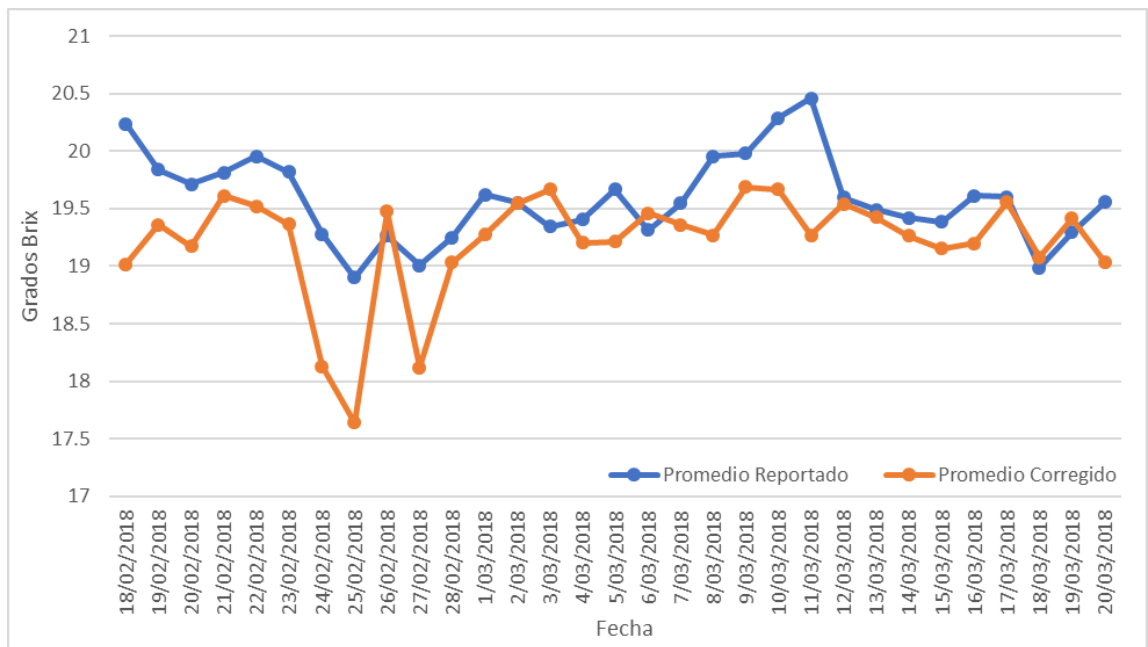
* Diagrama de Pareto obtenido en del análisis factorial de Minitab, luego de la limpieza y corrección de variables. Utilizada para la identificación visual de los factores significativos sobre la variable respuesta del Porcentaje de Fibra en la Caña (F%C) en la muestra.

c. Modelo Matemático

Ecuación No. 17 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del Brix, con una regresión ajustada de 29.21%

$$\begin{aligned}
 \text{Brix} = & 18.348 - 1.545(\text{CG00} - 033) - 1.409(\text{CG00} - 102) + 0.736(\text{CG02} - 163) + 0.857(\text{CG98} \\
 & - 10) - 1.078(\text{CG98} - 46) + 0.712(\text{CG98} - 78) + 0.598(\text{CP72} - 2086) \\
 & + 0.887(\text{CP73} - 1547) + 0.391(\text{CP88} - 1165) - 0.550(\text{SP71} - 6161) \\
 & + 0.402(\text{VARIAS}) - 1.265(\text{Rango de T}_1) - 0.821(\text{Rango de T}_2) \\
 & + 0.589(\text{Rango de T}_3) + 0.347(\text{Rango de T}_4) + 0.776(\text{Rango de T}_5) \\
 & + 0.375(\text{Rango de T}_6) - 0.573(\text{Rango distancia}_1) + 0.045(\text{Rango distancia}_2) \\
 & + 0.528(\text{Rango distancia}_4)
 \end{aligned}$$

Figura No. 40. Comparación de la corrección de los °Brix y el resultado real obtenido por el ingenio.

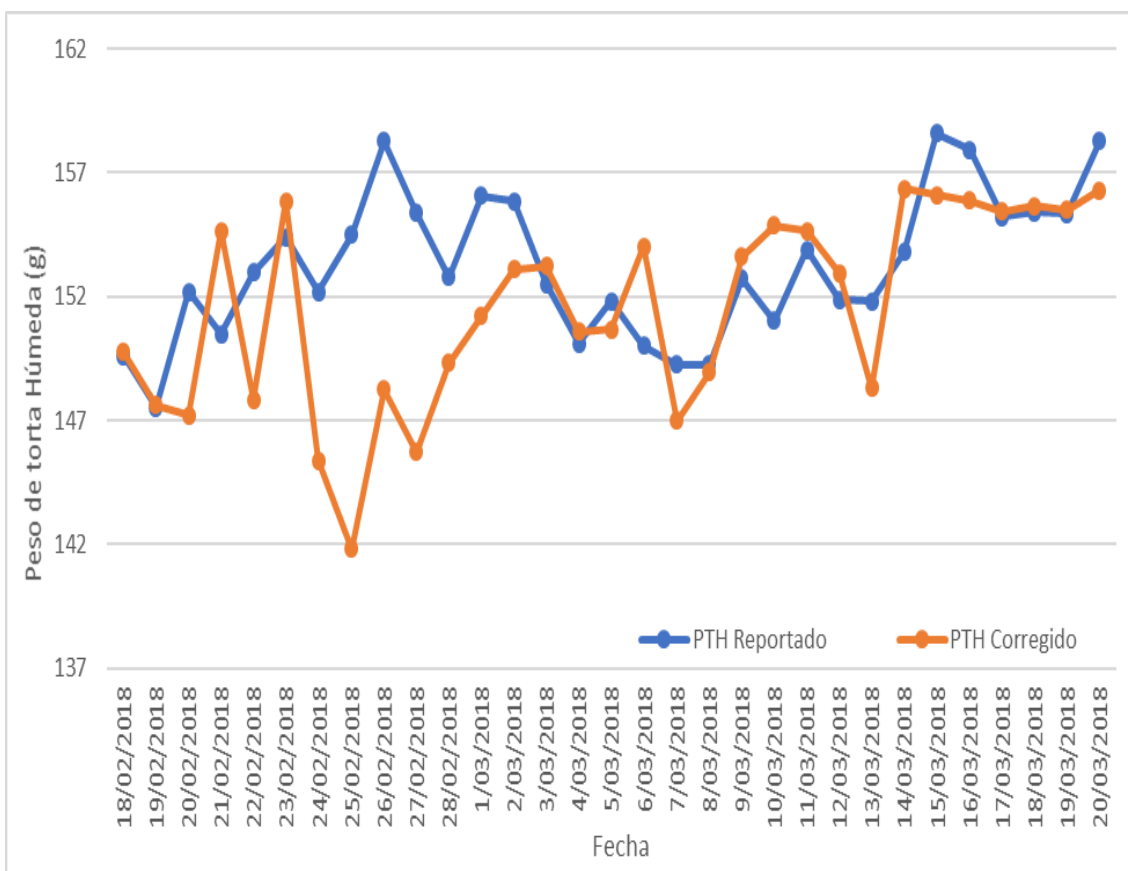


*Gráfica de comparación entre los resultados reportados de grados Brix y los datos corregidos por la Ecuación No. 17 obtenida por el Software Minitab en las muestras de caña provenientes del corte mecanizado, utilizada en la corrección y validación del resultado del porcentaje de Pol en la Caña para los días de zafra entre el 96 y el 126.

Ecuación No. 18 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del peso de torta húmeda, con una regresión ajustada de 27.03%

$$\begin{aligned}
 PTH = & 149.17 + 9.93(CG00 - 033) - 5.39(CG00 - 102) - 8.26(CG02 - 163) + 1.56(CG98 \\
 & - 10) - 9.40(CG98 - 46) + 0.90(CG98 - 78) + 1.48(CP72 - 2086) \\
 & - 1.35(CP73 - 1547) - 1.25(CP88 - 1165) + 6.88(SP71 - 6161) \\
 & + 4.9(VARIAS) - 8.20(\text{Rango de T}_1) - 4.57(\text{Rango de T}_2) \\
 & + 2.2(\text{Rango de T}_3) + 0.67(\text{Rango de T}_4) + 4.38(\text{Rango de T}_5) \\
 & + 5.51(\text{Rango de T}_6)
 \end{aligned}$$

Figura No. 41. Comparación de la corrección del Peso de Torta Húmeda y el resultado del Peso de Torta Húmeda reportado por el ingenio



*Ecuación obtenida por el Software Minitab para la corrección del resultado del Peso de Torta Húmeda en las muestras de caña de corte mecanizado, utilizada en la corrección y validación del resultado del porcentaje de Pol en la Caña para los días de zafra entre el 96 y el 126.

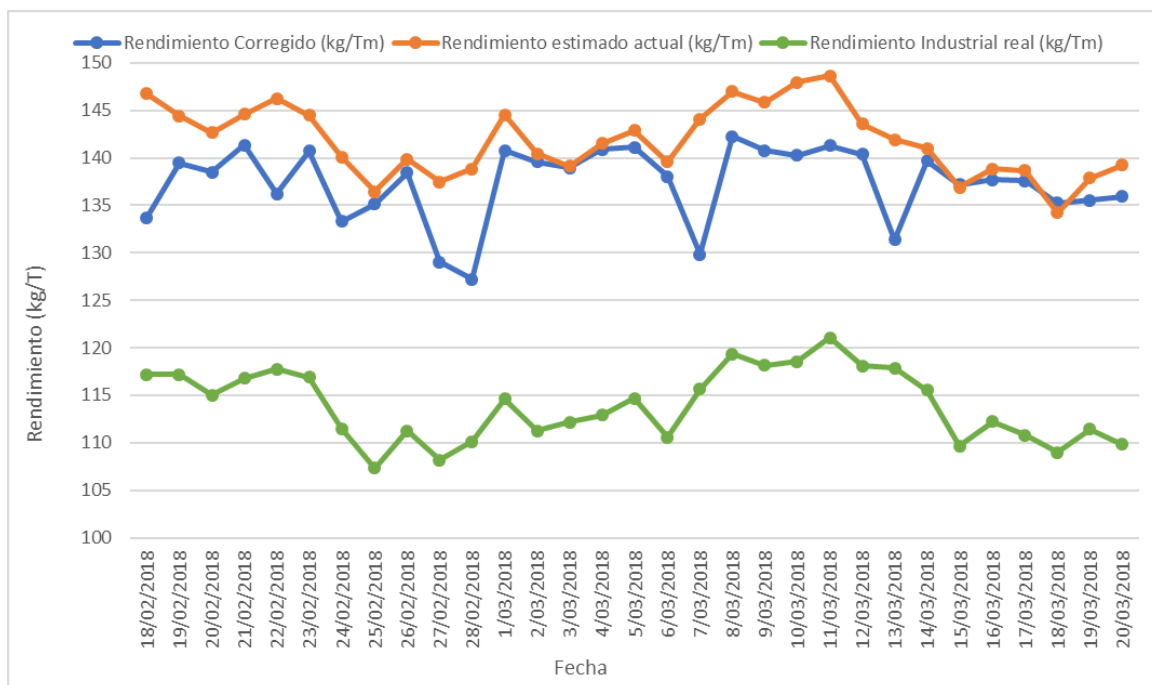
d. Validación del modelo matemático

Cuadro No.11 Corrección del porcentaje de Pol en la caña promedio y del rendimiento de la caña de azúcar diario para todos los días entre el 18 de febrero y 20 de marzo de la zafra 2017-2018 comparado contra el Rendimiento reportado por el ingenio para los mismos días.

Fecha	Promedio Corregido (Pol% C)	Promedio reportado (Pol% C)	Rendimiento Corregido (kg/Tm)	Rendimiento estimado actual (kg/Tm)	Rendimiento Industrial real (kg/Tm)	Diferencia entre Rendimiento corregido y rendimiento real (kg/Tm)	Diferencia entre Rendimiento estimado y rendimiento Real (kg/Tm)
18/02/2018	13.24	14.54	133.7	146.76	117.17	16.53	29.59
19/02/2018	13.81	14.3	139.47	144.44	117.17	22.30	27.27
20/02/2018	13.71	14.12	138.51	142.63	115.03	23.48	27.60
21/02/2018	13.99	14.31	141.33	144.58	116.77	24.56	27.81
22/02/2018	13.49	14.48	136.23	146.23	117.77	18.46	28.46
23/02/2018	13.93	14.31	140.73	144.47	116.89	23.84	27.58
24/02/2018	13.20	13.87	133.31	140.08	111.46	21.85	28.62
25/02/2018	13.38	13.51	135.16	136.47	107.32	27.84	29.15
26/02/2018	13.70	13.84	138.41	139.86	111.25	27.16	28.61
27/02/2018	12.78	13.61	129.05	137.49	108.19	20.86	29.30
28/02/2018	12.59	13.74	127.21	138.82	110.11	17.10	28.71
1/03/2018	13.94	14.31	140.77	144.53	114.64	26.13	29.89
2/03/2018	13.82	13.9	139.59	140.41	111.25	28.34	29.16
3/03/2018	13.76	13.78	138.96	139.15	112.20	26.76	26.95
4/03/2018	13.95	14.01	140.87	141.52	112.93	27.94	28.59
5/03/2018	13.97	14.15	141.11	142.9	114.65	26.46	28.25
6/03/2018	13.67	13.82	138.04	139.58	110.59	27.45	28.99
7/03/2018	12.86	14.27	129.85	144.08	115.66	14.19	28.42
8/03/2018	14.08	14.55	142.23	146.96	119.34	22.89	27.62
9/03/2018	13.94	14.44	140.77	145.84	118.17	22.60	27.67
10/03/2018	13.89	14.65	140.29	147.97	118.53	21.76	29.44
11/03/2018	13.99	14.71	141.28	148.61	121.04	20.24	27.57
12/03/2018	13.90	14.22	140.39	143.56	118.07	22.32	25.49
13/03/2018	13.01	14.05	131.4	141.92	117.88	13.52	24.04
14/03/2018	13.83	13.96	139.68	141.02	115.54	24.14	25.48
15/03/2018	13.58	13.55	137.18	136.9	109.66	27.52	27.24
16/03/2018	13.63	13.74	137.7	138.82	112.22	25.48	26.60
17/03/2018	13.62	13.73	137.6	138.67	110.79	26.81	27.88
18/03/2018	13.39	13.29	135.27	134.21	108.98	26.29	25.23
19/03/2018	13.42	13.65	135.53	137.87	111.42	24.11	26.45
20/03/2018	13.46	13.79	135.95	139.26	109.85	26.10	29.41
Promedio	13.597	14.039	137.341	141.794	113.952	23.389	27.841
Desv. Est.	0.389	0.367	3.931	3.699	3.730	4.054	1.417

* Resultados del promedio corregido diario de las muestras de caña provenientes del corte mecanizado, comparadas con los resultados reportados por el ingenio para los mismos días. Donde se observa una educción de la diferencia entre el rendimiento corregido y el rendimiento real; y la diferencia entre rendimiento estimado por el ingenio y el rendimiento real de azúcar.

Figura No. 42. Comparación entre el rendimiento utilizado por el laboratorio, el rendimiento corregido con las ecuaciones de los análisis estadísticos y el rendimiento real del ingenio.



* Gráfica de los resultados obtenidos a partir de los datos recopilados y reportados por el laboratorio para el Rendimiento reportado, contra los resultados del rendimiento corregido con las ecuaciones de los análisis factoriales. Ambos comparados contra el Rendimiento real del ingenio.

Cuadro No.12. Reducción porcentual entre el rendimiento corregido y el rendimiento actual utilizado en el laboratorio.

Diferencia promedio entre Rendimiento corregido y rendimiento real (kg/Tm)	Diferencia promedio entre Rendimiento estimado y rendimiento Real (kg/Tm)	Reducción porcentual con la corrección del método (%)
23.39	27.84	15.99

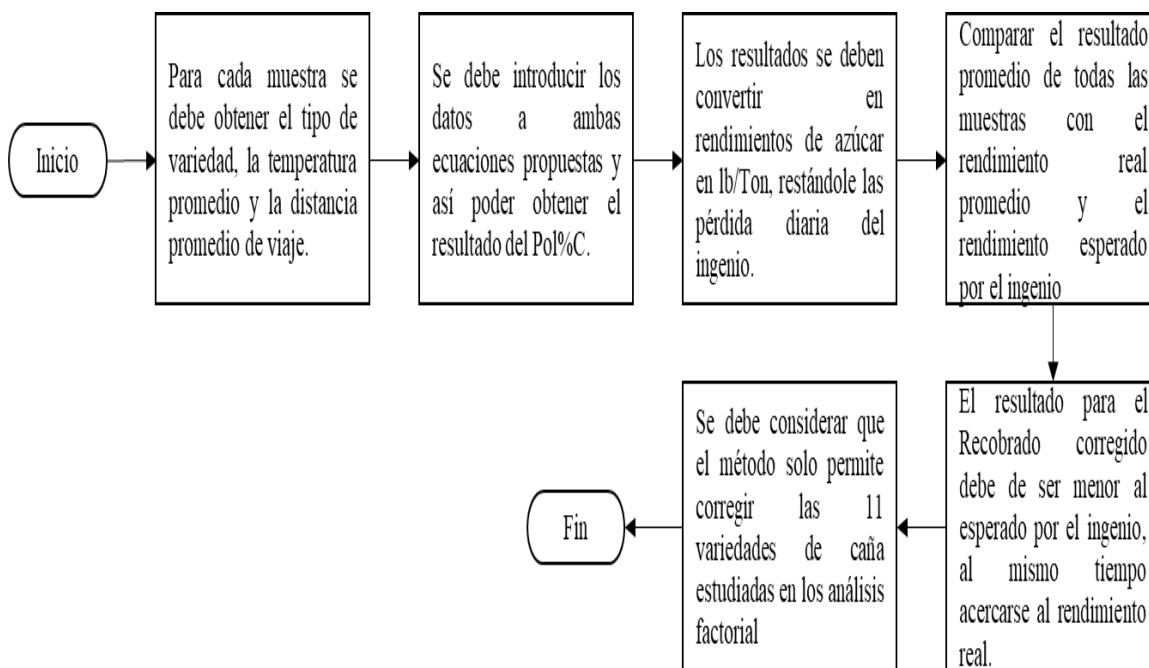
* Resultado de la reducción porcentual utilizando las ecuaciones de Grados Brix y Peso de torta Húmeda para corregir el porcentaje de Pol en las muestras, comparado contra el resultado actual estimado por el ingenio.

Cuadro No.13. resultados para el recobrado de azúcar para los distintos análisis de corrección del porcentaje de Pol en las muestras de caña, comparados contra el recobrado real reportado por el ingenio para todos los días entre el 18 de febrero y 20 de marzo del año 2018.

Fecha	Corrección BRIX y PTH		Corrección F%C		Corrección Pol%C		Recobrado de azúcar real (kg/Tm)
	Promedio (Pol%C)	Recobrado corregido (kg/Tm)	Promedio (Pol%C)	Recobrado corregido (kg/Tm)	Promedio (Pol%C)	Recobrado corregido (kg/Tm)	
18/02/2018	14.55	124.48	14.55	124.47	13.24	111.16	117.17
19/02/2018	14.20	120.93	14.10	119.95	13.81	117.02	117.17
20/02/2018	14.13	121.78	14.03	120.80	13.71	117.56	115.03
21/02/2018	14.22	120.84	14.21	120.81	13.99	118.56	116.77
22/02/2018	14.62	125.24	14.52	124.24	13.49	113.82	117.77
23/02/2018	14.25	120.38	14.24	120.33	13.93	117.20	116.89
24/02/2018	14.05	118.02	14.04	117.99	13.20	109.44	111.46
25/02/2018	13.77	114.21	13.77	114.21	13.38	110.25	107.32
26/02/2018	14.05	119.06	13.95	118.08	13.70	115.60	111.25
27/02/2018	13.81	117.29	13.81	117.28	12.78	106.83	108.19
28/02/2018	13.80	115.21	13.71	114.30	12.59	103.03	110.11
1/03/2018	14.23	122.45	14.23	122.46	13.94	119.51	114.64
2/03/2018	13.37	112.90	13.37	112.90	13.82	117.39	111.25
3/03/2018	13.74	115.98	13.74	115.97	13.76	116.13	112.20
4/03/2018	13.95	117.56	13.95	117.59	13.95	117.56	112.93
5/03/2018	14.11	119.54	14.12	119.57	13.97	118.09	114.65
6/03/2018	13.79	115.22	13.79	115.19	13.67	113.96	110.59
7/03/2018	14.28	121.12	14.18	120.15	12.86	106.74	115.66
8/03/2018	14.49	122.80	14.49	122.80	14.08	118.67	119.34
9/03/2018	14.34	122.93	14.34	122.90	13.94	118.85	118.17
10/03/2018	14.50	125.15	14.50	125.10	13.89	118.94	118.53
11/03/2018	14.68	126.89	14.67	126.85	13.99	119.93	121.04
12/03/2018	14.10	120.17	14.09	120.12	13.90	118.17	118.07
13/03/2018	14.06	119.86	13.96	118.90	13.01	109.28	117.88
14/03/2018	13.86	118.01	13.86	117.96	13.83	117.67	115.54
15/03/2018	13.75	115.77	13.75	115.78	13.58	114.07	109.66
16/03/2018	13.35	113.02	13.35	113.02	13.63	115.83	112.22
17/03/2018	13.71	115.59	13.71	115.57	13.62	114.71	110.79
18/03/2018	13.27	110.75	13.27	110.71	13.39	111.98	108.98
19/03/2018	13.50	114.08	13.50	114.09	13.42	113.22	111.42
20/03/2018	13.71	115.74	13.71	115.72	13.46	113.19	109.85
Promedio	14.01	118.81	13.98	118.58	13.60	114.66	113.95
Des. Std.	0.37	4.08	0.36	4.00	0.39	4.29	3.73

*Comparación de los tres métodos utilizados para corregir los resultados del porcentaje de Pol en la caña comparados contra el recobrado de azúcar real obtenido por el ingenio para identificar la mejor forma de realizar la corrección de las muestras.

Figura No. 43 Metodología para la corrección de los datos de la zafra 2018-2019 para validar el modelo matemático propuesto.



e. Manual de usuario

Revisarla en el Anexo para el resultado del Manual de Usuario ING.MU001. Donde se muestra:

- El objetivo del manual de usuario
- La referencia de la metodología
- El archivo (ING.MU001.xlsx) con la hoja de cálculo para poder corregir los resultados del porcentaje de Pol en las muestras de caña.
- El procedimiento para llenar la hoja de cálculo

Todas las ecuaciones y cálculos que se utilizaron para completar las correcciones.

Validación de los métodos analíticos y de laboratorio

f. Validación de los métodos analíticos y de laboratorio

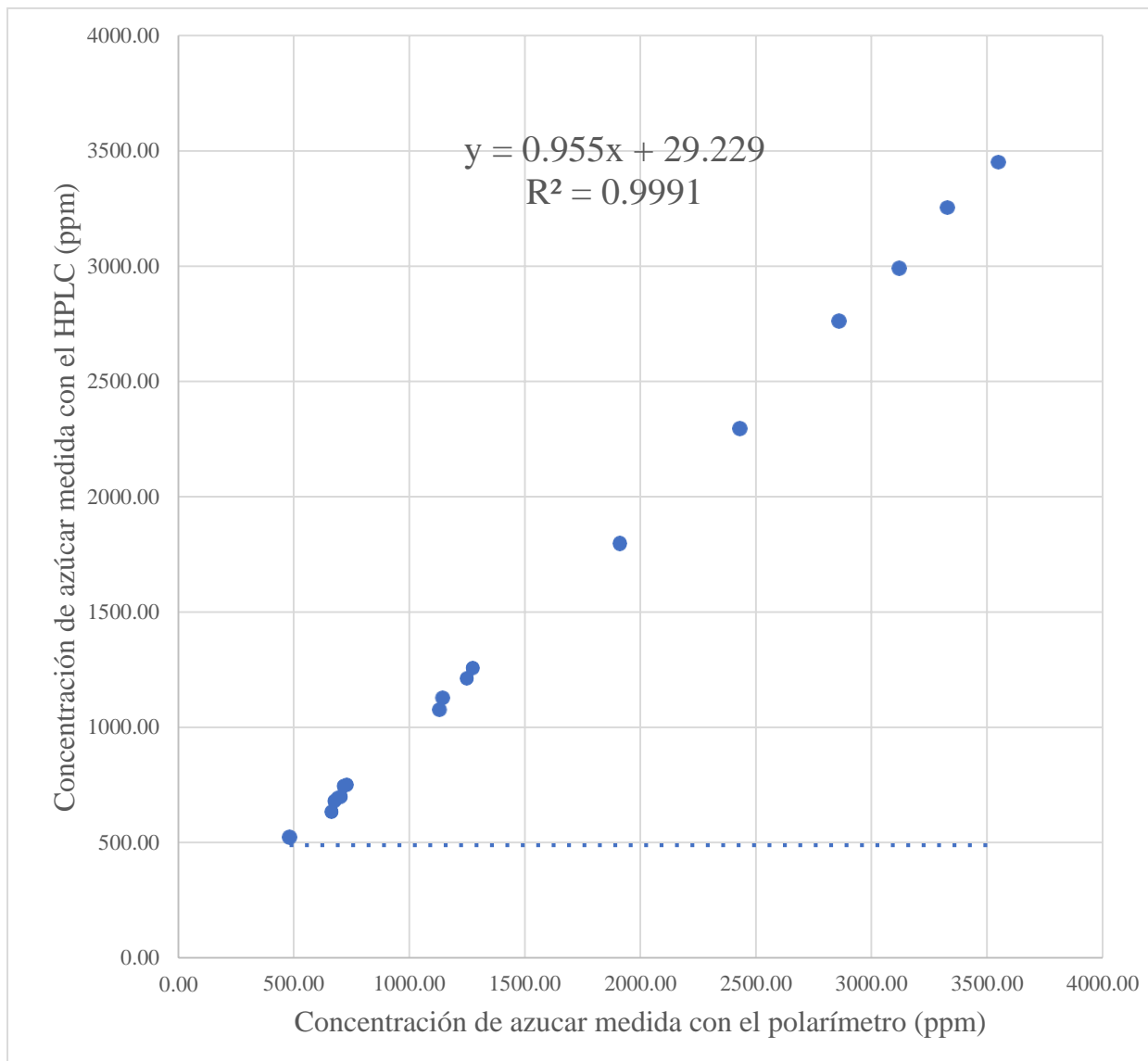
A continuación, se muestran los resultados obtenidos que corresponden a cada uno de los objetivos propuestos en el apartado de cuerpo (Objetivos), siguiendo el orden de los mismos.

Cuadro No.14: Comparación entre los resultados obtenidos por medio del método de polarimetría y el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en muestras provenientes de los efluentes de un ingenio azucarero

Día zafra	No. Muestra	Resultado polarimetría (ppm)	Incertidumbre polarimetría (ppm)	Resultado HPLC (ppm)	Incertidumbre HPLC (ppm)	Porcentaje de variación
65	1	1911.00	26.18	1797.18	0.74	6.33%
65	2	2860.00	26.00	2763.12	0.74	3.51%
65	3	3549.00	25.72	3451.50	0.74	2.82%
65	4	3120.00	26.00	2991.10	0.74	4.31%
65	5	3328.00	26.00	3255.35	0.74	2.23%
65	6	663.00	25.50	635.08	0.74	4.40%
65	9	676.00	25.04	680.97	0.74	0.73%
65	10	715.00	25.54	743.15	0.74	3.79%
121	12	728.00	26.00	748.25	0.76	2.71%
121	13	702.00	26.00	698.77	0.76	0.46%
121	14	689.00	26.50	692.68	0.76	0.53%
121	15	481.00	25.32	523.70	0.76	8.15%
128	16	1248.00	26.00	1213.04	0.74	2.88%
128	17	1274.00	26.00	1256.73	0.74	1.37%
128	18	1131.00	25.70	1076.78	0.74	5.04%
128	19	1144.00	26.00	1125.65	0.74	1.63%
128	20	2431.00	26.14	2295.74	0.74	5.89%
					Promedio	3.34%
					Máximo	8.15%
					Mínimo	0.46%
					Desviación	2.17%

Notas: El Cuadro No.14 demuestra la variación entre los datos obtenidos por medio del HPLC y el polarímetro, utilizando las mismas muestras y basándose en las metodologías de análisis ING.-MM001 y ING.-MM002, que pueden encontrarse en los anexos 1.a y 1.b respectivamente. Estos análisis fueron realizados a 20°C y a 1 atmósfera de presión.

Figura No. 44 Curva de calibración para los resultados obtenidos por el polarímetro con referencia al HPLC



Notas: Figura anterior muestra la gráfica que contrasta los resultados obtenidos por el método polarimétrico y los resultados obtenidos por el método de cromatografía líquida, con el fin de hacer la corrección de los resultados de polarimetría con un método de análisis más exacto. La línea punteada es la curva de mejor ajuste que representa la ecuación en el gráfico, generada por una estimación por los puntos presentados en el Cuadro No.14. Estos análisis fueron realizados a 20°C y a 1 atmósfera de presión.

Cuadro No.15 Análisis del diseño del canal Parshall de patio

Símbolo	Definición	Medida diseño (±0.01m)	Medida real (±0.01m)	Diferencia diseño y real (±0.01m)	Porcentaje de variación (%)
W	Ancho de garganta	0.92	0.90	0.02	1.64%
A	Longitud de pared sección convergente	1.68	1.65	0.03	1.64%
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	1.12	1.10	0.02	1.61%
B	Longitud sección convergente	1.65	1.67	0.02	1.52%
C	Ancho de salida	1.22	1.30	0.08	6.56%
D	Ancho de entrada	1.57	1.50	0.07	4.58%
E	Profundidad total	1.90	1.78	0.12	6.52%
T	Longitud de garganta	0.61	0.63	0.02	3.28%
G	Longitud sección divergente	0.92	0.93	0.02	1.64%
H	Longitud de pared sección divergente	0.93	0.90	0.03	2.98%

Notas: Las medidas de diseño se refieren a las medidas teóricas que tendría que tener el canal, mientras que las medidas reales corresponden a las que tiene físicamente el canal de Parshall. Para visualizar de mejor manera el canal y sus medidas se puede observar Figura No.15 y utilizar la referencia del Cuadro No.15. La medida crítica en el diseño del canal es el ancho de garganta, ya que de este depende la ecuación para el cálculo del caudal.

Cuadro No.16 Análisis de la ecuación de gasto para el canal Parshall de patio

Ancho de garganta - real (±0.01m)	Ancho de garganta - diseño (±0.01m)	Ecuación de gasto	Rango de variación (m)	Resultado
0.90	0.9144	$Q = 2.184$ $(Ha)^{1.566}$	0.932 – 0.896	Ecuación aceptada

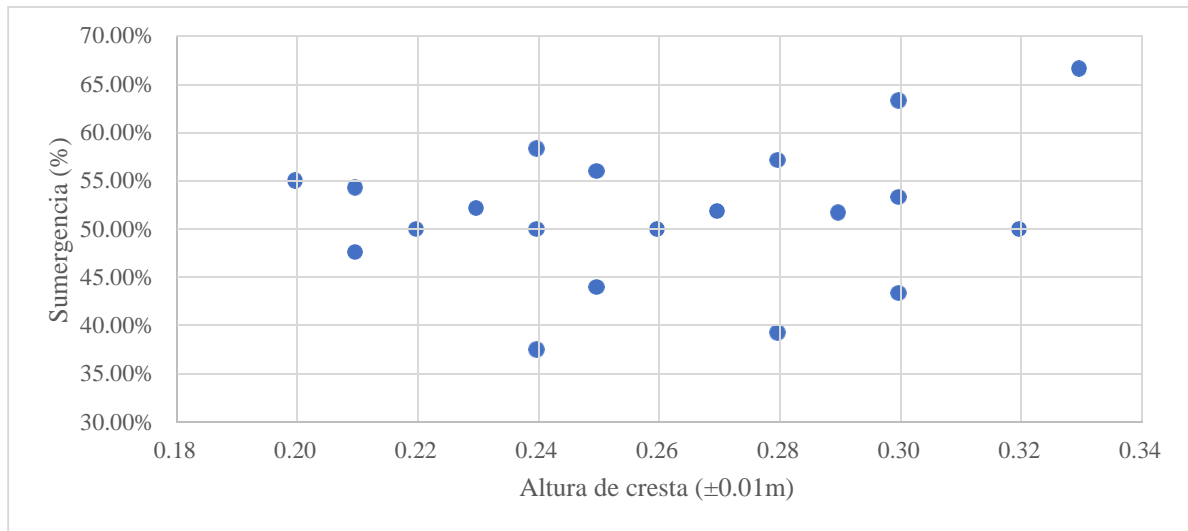
Notas: El Cuadro No.16 muestra las diferencias entre la medida real y la medida de diseño para el canal de Parshall de patio, con el rango de variación permitido para la utilización de la ecuación de gasto en el canal.

Cuadro No.17 Promedios, mínimos y máximos de sumergencia en el canal de Parshall de patio

Estadístico	Porcentaje de sumergencia (S)
Promedio	51.58%
Mínimo	37.50%
Máximo	66.67%
Desviación	7.20%

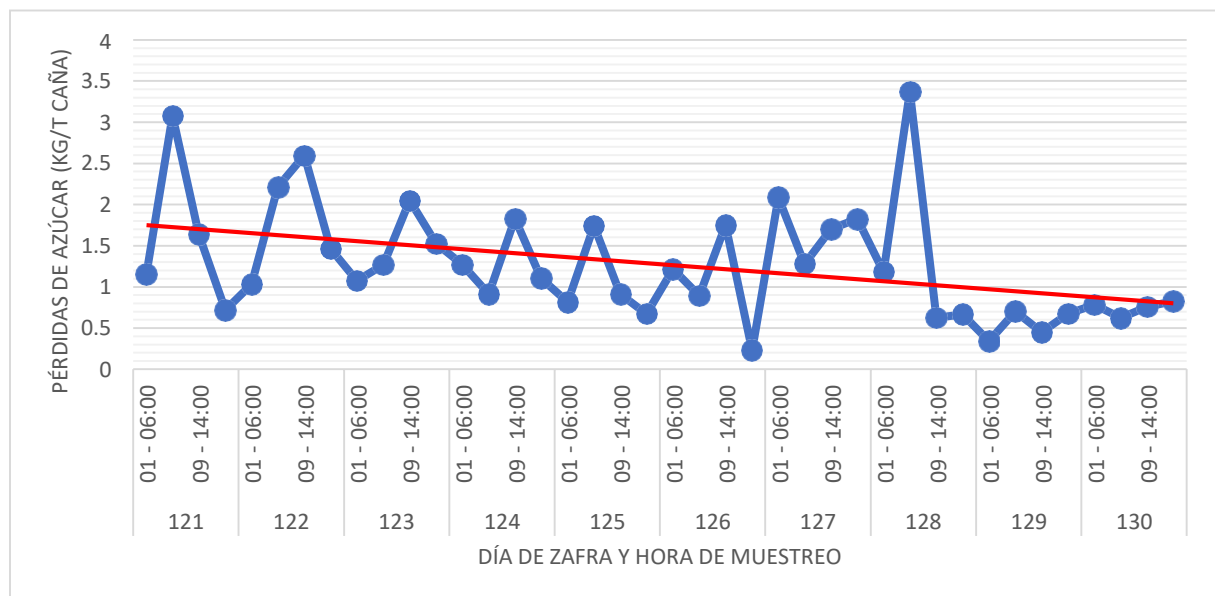
Notas: El porcentaje de sumergencia muestra la relación entre la altura del caudal al estar en la garganta del canal de Parshall (valle) y la altura previa al estar en la garganta del canal de Parshall (cresta). Estos resultados presentan el resumen de 20 muestras analizadas durante todo el periodo de zafra (noviembre 2017 a abril 2018).

Figura No. 45 Distribución de la sumergencia con respecto a la altura de cresta (Ha) en el canal de Parshall de patio



Notas: En este gráfico se detalla cómo se distribuye el porcentaje de sumergencia tomando en cuenta la altura de cresta (Ha) en el canal Parshall.

Figura No.46 Variación de pérdidas en los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017-18 en el canal de Parshall de patio



Notas: El gráfico anterior detalla la alta variabilidad entre cada uno de los resultados, por día de zafra durante un periodo continuo de 10 días de operación. La línea azul muestra los resultados obtenidos de los muestreos y la línea punteada roja muestra el promedio de pérdidas reportado ese día en el ingenio. Como se puede observar, existe una amplia variación entre las pérdidas reales y el promedio reportado por el ingenio. Los días analizados fueron de los días 15 al 24 de marzo de 2018. Este análisis fue realizado luego de observar la alta variabilidad de los caudales que pasan por el canal, determinado en el gráfico de distribución de sumergencia.

Cuadro No.18 Análisis del diseño del canal Parshall de fábrica

Símbolo	Definición	Medida diseño (±0.01m)	Medida real (±0.01m)	Diferencia diseño y real (±0.01m)	Porcentaje de variación (%)
W	Ancho de garganta	0.92	0.92	0.01	0.54%
A	Longitud de pared sección convergente	1.63	1.68	0.05	2.91%
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	1.09	1.12	0.03	2.88%
B	Longitud sección convergente	1.68	1.65	0.03	2.08%
C	Ancho de salida	1.20	1.22	0.02	1.67%
D	Ancho de entrada	1.51	1.57	0.06	4.11%
E	Profundidad total	2.06	1.90	0.16	7.57%
T	Longitud de garganta	0.83	0.61	0.22	26.51%
G	Longitud sección divergente	0.93	0.92	0.02	1.61%
H	Longitud de pared sección divergente	0.97	0.93	0.04	4.37%
M	Longitud de transición de entrada	0.56	0.60	0.04	7.14%

Notas: La medida de diseño se refiere a la dimensión teórica que tendría que tener el canal, mientras que la medida real es la cual tiene el canal de Parshall físicamente. Para visualizar de mejor manera el canal y sus medidas se puede observar Figura No.12 y utilizar los símbolos descritos en el Cuadro No.18. La medida crítica en el diseño del canal es el ancho de garganta, ya que de este depende la ecuación para el cálculo del caudal.

Cuadro No.19 Análisis de la ecuación de gasto para el canal Parshall de fábrica

Ancho de garganta - real (±0.01m)	Ancho de garganta - diseño (±0.01m)	Ecuación de gasto	Rango de variación	Resultado
0.92	0.9144	$Q = 2.184 (Ha)^{1.566}$	0.932 – 0.896	Ecuación aceptada

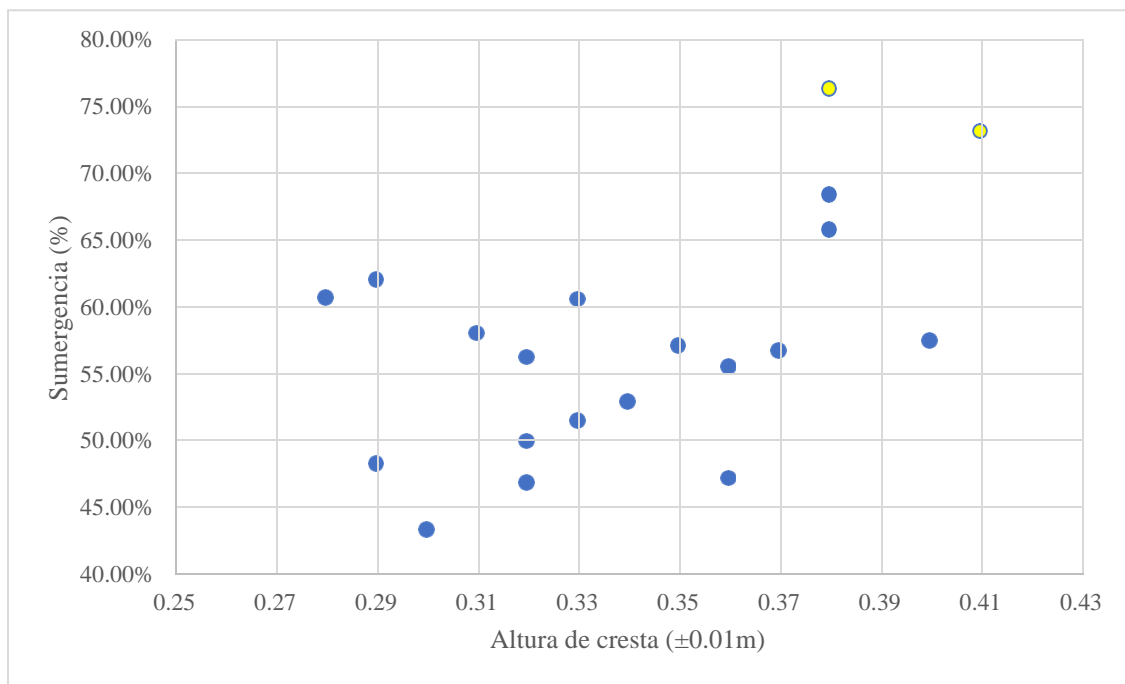
Notas: El Cuadro No.19 muestra las diferencias entre la medida real y la medida de diseño para el canal de Parshall de fábrica, con el rango de variación permitido para la utilización de la ecuación de gasto en el canal.

Cuadro No.20 Promedios, mínimos y máximos de sumergencia en el canal de Parshall de fábrica.

Estadístico	Porcentaje de sumergencia (S)
Promedio	57.43%
Mínimo	43.33%
Máximo	76.32%
Desviación	8.74%

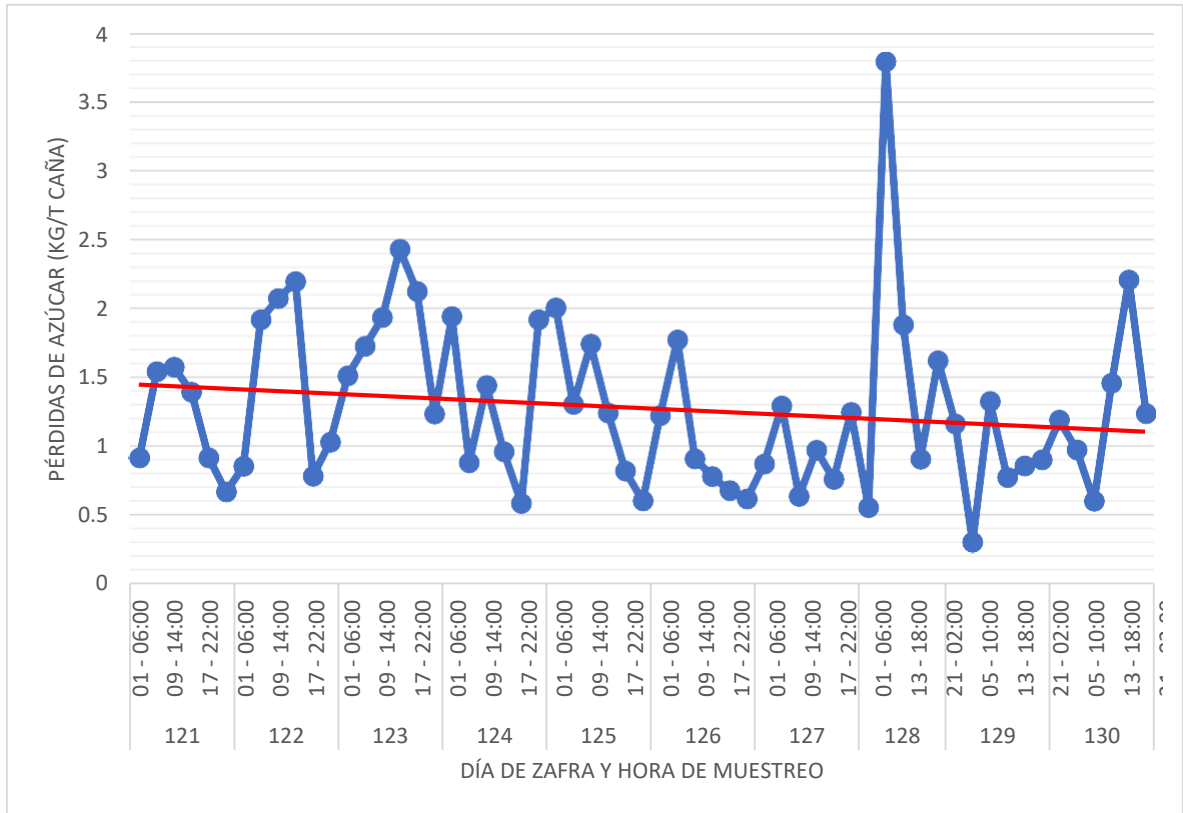
Notas: El porcentaje de sumergencia muestra la relación entre la altura del caudal al estar en la garganta del canal de Parshall (valle) y la altura previa al estar en la garganta del canal de Parshall (cresta). Estos resultados presentan el resumen de 20 muestras analizadas durante todo el periodo de zafra (noviembre 2017 a abril 2018).

Figura No.47 Distribución de la sumergencia con respecto a la altura de cresta (Ha) en el canal de Parshall de fábrica.



Notas: Figura No.48 detalla cómo se distribuye el porcentaje de sumergencia tomando en cuenta la altura de cresta (Ha) en el canal Parshall de fábrica. Los puntos en amarillo son las mediciones atípicas que mostraron un porcentaje de sumergencia mayor al 70%, evidenciando un ahogamiento del canal de Parshall.

Figura No.48 Variación de pérdidas en los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017-18 en el canal de Parshall de fábrica



Notas: El gráfico anterior detalla la alta variabilidad entre cada uno de los resultados, por día de zafra durante un periodo continuo de 10 días de operación. La línea azul muestra los resultados obtenidos de los muestreos y la línea roja muestra el promedio de pérdidas reportado ese día en el ingenio. Como se puede observar, existe una amplia variación entre las pérdidas reales y el promedio reportado por el ingenio. Los días analizados fueron de los días 15 al 24 de marzo de 2018. Este análisis fue realizado luego de observar la alta variabilidad de los caudales que pasan por el canal, determinada en el gráfico de distribución de sumergencia.

Cuadro No.21: Diferencia entre las mediciones de la sonda electrónica para medición de caudal (UF AV5000) y el método de alturas y velocidades para el canal de entrada del río Achíguate, previo al arreglo y limpieza del sensor del equipo

Corrida No.	Caudal medido (m ³ /h)	Caudal medido por sonda (m ³ /h)	% Error
1	4296.86	2222.20	93.36%
2	4985.12	2150.21	131.84%
3	4757.86	2107.00	125.81%
4	4846.15	2143.00	126.14%
5	4846.15	2155.00	124.88%
6	4917.11	2165.00	127.12%
7	5194.64	2150.00	141.61%
8	4748.24	2130.00	122.92%
		Promedio	124.21%
		Mínimo	93.36%
		Máximo	141.61%
		Desviación	13.78%

Notas: Se muestran los resultados del caudal medidos por el método de alturas y velocidades y los que proporcionaba la sonda electrónica en la entrada del canal, al igual que la variación entre métodos previo a determinar el problema de falta de limpieza en el canal.

Cuadro No.22: Diferencia entre las mediciones de la sonda electrónica para medición de caudal (UF AV5000) y el método de alturas y velocidades para el canal de entrada del río Achíguate, después del arreglo y limpieza del sensor del equipo

Corrida No.	Caudal medido (m ³ /h)	Caudal medido por sonda (m ³ /h)	% Error
1	2257.66	2234.20	1.05%
2	2103.41	2214.00	5.00%
3	2109.89	2138.20	1.32%
4	2175.50	2167.00	0.39%
5	2263.04	2184.00	3.62%
6	2197.00	2166.80	1.39%
7	2240.16	2203.70	1.65%
8	2177.02	2192.00	0.68%
		Promedio	1.89%
		Mínimo	0.39%
		Máximo	5.00%
		Desviación	1.59%

Notas: Se muestran los resultados del caudal medidos por el método de alturas y velocidades y los que proporcionaba la sonda electrónica en la entrada del canal, al igual que la variación entre métodos previo a determinar el problema de falta de limpieza en el canal.

Cuadro No.23: Cuadro de metodologías de ensayo

No.	Código	Nombre	Descripción	Ubicación
1	ING.-MM001	Metodología de determinación de azúcar por medio de polarimetría	Esta metodología busca demostrar la manera correcta para determinar por el medio polarimétrico la concentración de azúcar de una muestra.	Anexos. 1. Metodologías de ensayo. a. Página 50.
2	ING.-MM002	Metodología de determinación de azúcar por medio de HPLC	Esta metodología busca demostrar la manera correcta para determinar por el medio de cromatografía líquida la concentración de azúcar de una muestra.	Anexos. 1. Metodologías de ensayo. b. Página 55.
3	ING.-MM003	Metodología de determinación de caudal por medio de canal de Parshall.	Esta metodología busca demostrar la manera correcta para determinar el caudal en un efluente del ingenio azucarero utilizando el aforador de Parshall.	Anexos. 1. Metodologías de ensayo. c. Página 62.
4	ING.-MM004	Metodología de determinación de caudal por medio de alturas y velocidades.	Esta metodología busca demostrar la manera correcta para determinar el caudal en un afluente del ingenio azucarero utilizando el método de alturas y velocidades.	Anexos. 1. Metodologías de ensayo. d. Página 64.

Notas: El Cuadro anterior únicamente indica una breve descripción de todas las metodologías de ensayo que se diseñaron para el proceso y su ubicación en los anexos.

Cuadro No.24: Cuadro de procedimientos muestreo

No.	Código	Nombre	Descripción	Ubicación
1	ING.-PM001	Procedimiento de muestreo para determinación de caudal y concentración en los canales de Parshall	El procedimiento de muestreo busca demostrar el procedimiento correcto para la realización de muestreos en canales de Parshall.	Anexos. 2. Procedimientos de muestreo. a. Página 67.

Notas: El Cuadro anterior únicamente indica una breve descripción de todos los procedimientos de muestreo que se diseñaron para el proceso y su ubicación en los anexos.

Cuadro No.25: Cuadro de manuales de validación

No.	Código	Nombre	Descripción	Ubicación
1	ING.-MV001	Manual de validación del polarímetro con respecto al HPLC	El manual de validación busca demostrar el proceso para la validación de equipos nuevos o revalidación de equipos previamente evaluados.	Anexos. 3. Manuales de validación. a. Página 69.
2	ING.-MV002	Manual de validación del canal de Parshall	El manual de validación busca demostrar el proceso para la validación de canales nuevos o revalidación de canales previamente evaluados.	Anexos. 3. Manuales de validación. a. Página 76.
3	ING.-MV003	Manual de validación de la sonda electrónica del canal de entrada.	El manual de validación busca demostrar el proceso para la validación de equipos nuevos o revalidación de equipos previamente evaluados.	Anexos. 3. Manuales de validación. a. Página 78.

Notas: El Cuadro anterior únicamente indica una breve descripción de todos los manuales de validación que se diseñaron para el proceso y su ubicación en los anexos.

Cuadro No.26: Cuadro de hojas de cálculo para validación

No.	Código	Nombre	Descripción	Ubicación
1	ING.-MVE001	Hoja de cálculo para validación para el polarímetro con respecto al HPLC	La hoja de cálculo es utilizada para facilitar el proceso de validación de un método de ensayo analítico.	Anexos. 3. Hoja de cálculo para validación. a. Página: 83
2	ING.-MVE002	Hoja de cálculo para validación para las dimensiones del canal de Parshall	La hoja cálculo es utilizada para facilitar el proceso de validación de las dimensiones del canal con respecto a las dimensiones de diseño.	Anexos. 3. Hoja de cálculo para validación. a. Página: 84
3	ING.-MVE003	Hoja de cálculo para validación para la sonda del canal de entrada	La hoja de cálculo es utilizada para facilitar el proceso de validación de un método de ensayo analítico.	Anexos. 3. Hoja de cálculo para validación. a. Página: 85

Notas: El Cuadro anterior únicamente indica una breve descripción de todas las hojas de cálculo para validación que se diseñaron para el proceso y su ubicación en los anexos.

Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica

g. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica

Cuadro No 27: Listado de tuberías identificadas en esquema a vista de planta.

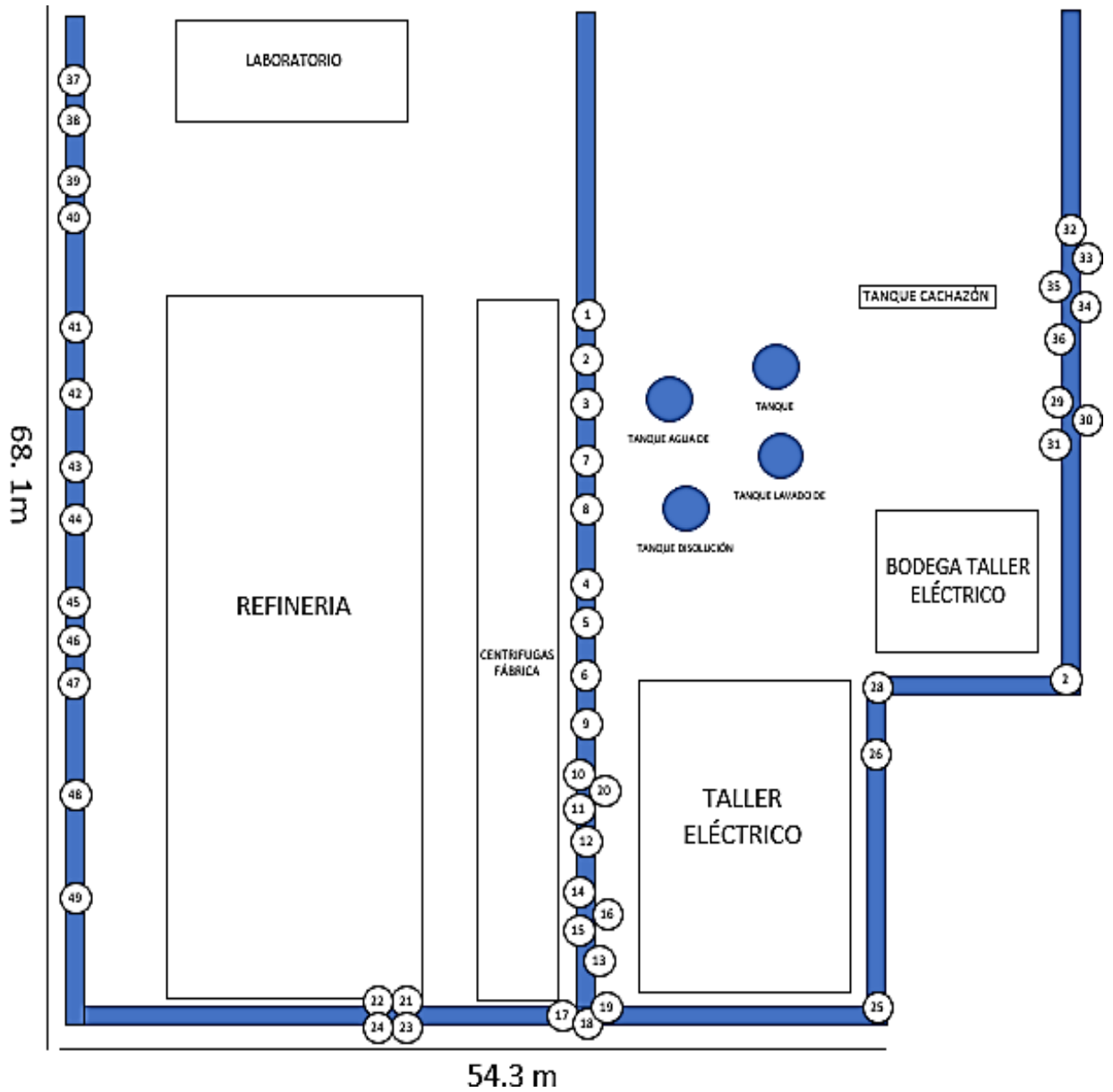
No. tubería	DESCRIPCIÓN TUBERIA
1	Condensados de los calentadores de jugo
2	Drenaje de aguas para enfriamiento de los cristalizadores
3	Agua de enfriamiento para bandeja de cristalizadores
4	Rebalse de tanque de agua de recirculación
5	Agua del lavado de telas directa
6	Rebalse de tanque de agua de lavado de telas
7	Rebalse tanque de agua fría no.2
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación
9	Rebalse tanque sifón no. 4
10	Drenaje bajo secadora no. 2
11	Rebalse y purga de tanque de condensados de secadora 1 y 2
12	Drenaje de área de fajas del 3er nivel
13	Drenaje de tubería tanque sello condensadores tachos
14	Drenaje de tubería de agua de enfriamiento para bombas nash del tacho continuo
15	Rebalse del tanque de granza primer nivel
16	Drenaje del tercer nivel sector de enfriadora
17	Tubería del drenaje de área fajas crudo, vhp y estándar
18	Drenaje Recibidor de masa C-1 y rebalse de sifón de condensados tachos 10 y 12
19	Drenaje de tanque sello condensadores tacho 7, 8, 9 y 10
20	Alivio de tubería de condensados de calandria tachos 7, 8 y 9
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento
24	Drenaje piso 3er nivel
25	Drenaje línea general de atmosfera de evaporadores
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría no.2
27	Agua de enfriamiento para bombas de vacío de filtros rotativos
28	Drenaje filtro rotativo no.7 y bandeja de residuos de cachaza
29	Agua de salida condensadores barométricos
30	Drenaje de la banda de cachaza

Continuación de Cuadro No 27: Listado de tuberías identificadas en esquema a vista de planta.

31	Limpieza de banda de conducción de cachaza
32	Tubería de liquidación de charola de filtros
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores
34	Rebalse tanque cachazón
35	Purga tanque cachazón
36	Bandeja de residuos de cachaza de filtros rotativos
37	Agua de calentadores A y B
38	Agua de enfriamiento de hornos de azúcar
39	Drenaje de área de Sulfatación
40	Desagüe de agua de lluvia
41	Desagüe de lluvia
42	Drenaje de calentador de jugo
43	Drenaje de clarificador 6
44	Drenaje de líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B
45	Rebalses agua de refinería 1.
46	Rebalses agua de refinería 2.
47	Rebalses agua de refinería 3.
48	Drenaje de evaporadores 8 y 9
49	Drenaje del Chiller final refinería

Nota: Se muestra una lista de las tuberías que se identificaron a lo largo de toda la fábrica y refinería del ingenio azucarero en estudio, (en total fueron 49 tuberías. Los números son únicos para cada una de las tuberías, es un correlativo para poder analizar de una forma más ordenada cada uno de los efluentes y no tener confusiones. El esquema a continuación, Figura No 49, representa de manera visual el listado de tuberías identificadas.

Figura No.49 Esquema a vista de planta de distribución de tuberías a lo largo de fábrica de ingenio azucarero.



Nota: Se logra visualizar la distribución de las tuberías a lo largo de la fábrica y refinería del ingenio azucarero en estudio. Cada una de las tuberías está representada con un círculo con un número único, este se correlaciona con el Cuadro No 27 El número permite identificar en el listado el origen de cada una de las tuberías.

Cuadro No.28: Concentraciones y caudales promedio encontradas en tuberías con flujo.

No. tubería	Descripción de tubería	concentración (mg/L)	incertidumbre (± mg/L)	caudal (m3/h)	incertidumbre (± m3/h)
1	Condensados calentadores de jugo	0.0E+00	0.0E+00	1.02	0.06
2	Drenaje de aguas de enfriamiento cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	1.28	0.09
3	Agua de enfriamiento bandeja de cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	0.68	0.03
4	Rebalse tanque agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	1.85	0.18
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	1.36	0.10
9	Rebalse tanque sifón frente a bascula de miel final	0.0E+00	0.0E+00	0.41	0.01
11	Rebalse y purga de tanque de condensados secadora 1 y 2	0.0E+00	0.0E+00	0.56	0.02
13	Drenaje tubería tanque sello condensadores tachos y drenaje recibidor C-3	0.0E+00	0.0E+00	0.70	0.03
14	Drenaje tubería agua de enfriamiento bombas nash tacho continuo	0.0E+00	0.0E+00	0.18	0.00
18	Drenaje recibidor de masa C-1 y rebalse de sifón de condensados tachos 10 y 12	0.0E+00	0.0E+00	0.24	0.00
19	Drenaje tanque sello condensadores tacho 7,8,9 y 10	0.0E+00	0.0E+00	0.34	0.01
20	Alivio tubería condensados calandria tachos 7,8 y 9	0.0E+00	0.0E+00	0.20	0.00
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración	1.6E+03	3.3E-02	0.06	0.00
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería	4.0E+04	3.3E-02	0.20	0.00
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento	9.3E+02	3.3E-02	0.13	0.00
24	Drenaje piso 3er nivel	0.0E+00	0.0E+00	2.26	0.27
25	Drenaje linea general de atmosfera de evaporadores	0.0E+00	0.0E+00	0.08	0.00
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría no.2	0.0E+00	0.0E+00	1.26	0.08
27	Agua enfriamiento bombas de vacío filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	1.42	0.11
28	Drenaje filtro rotativo no.7 y bandeja de residuos de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	2.58	0.35
29	Agua de salida condensadores barométricos	0.0E+00	0.0E+00	12.50	1.39
31	Limpieza de banda de conducción de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	5.65	0.28
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores	7.4E+03	1.1E-02	0.26	0.00
36	Bandeja de residuos de cachaza de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	1.86	0.03
44	Líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B	X	X	X	X
47	Rebalses agua de refinería 3.	0.0E+00	0.0E+00	0.06	0.00

Nota: De las 49 tuberías identificadas solamente 26 tuberías contaban con un flujo activo. De las 26 tuberías solamente 4 contaban con concentración positiva de sacarosa, la 21, 22, 23 y 33. La tubería 44 no fue posible muestrearla, al no poder obtener un resultado numérico se le coloca una "X". Esto se debe a que conduce vapor de agua, el cual por seguridad se deposita en el efluente. El correlativo con el número de tubería se

mantiene para todas las tuberías según los números asignados en el Cuadro No.27, esto para poder identificar su ubicación en el esquema.

Cuadro No.29: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 21.

Resumen de pérdidas tubería 21		
fecha	Pérdida (kg)	incertidumbre (kg)
27-ene	2.25	0.15
03-feb	2.71	0.18
17-feb	1.55	0.10
\bar{x}	2.17	0.14

Cuadro No.30: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 22.

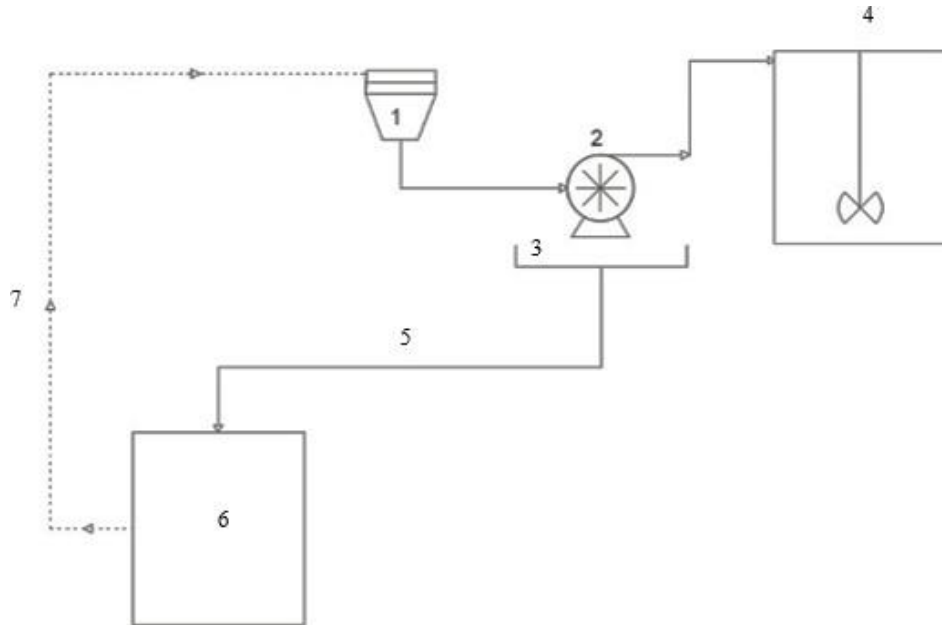
Resumen de pérdidas tubería 22		
FECHA	Pérdida (kg)	incertidumbre (kg)
27-ene	203.80	7.51
03-feb	160.79	5.87
17-feb	199.67	7.39
\bar{x}	188.09	6.92

Cuadro No.31: Kilogramos de azúcar perdidas en tubería 23.

Resumen de pérdidas tubería 23		
FECHA	Pérdida (kg)	incertidumbre (kg)
27-ene	4.08	0.15
03-feb	2.11	0.08
17-feb	2.74	0.10
\bar{x}	2.98	0.11

Nota: Los Cuadros 29, 30 y 31 son un resumen de la cantidad de kg de azúcar pérdidas en la tubería 21, 22 y 23 respectivamente, para días específicos de producción. Se realiza el análisis de pérdidas en kilogramos de azúcar para poder comprar uno con otro, y verificar en qué punto se puede llegar a proponer una solución para disminuir las pérdidas.

Figura No.50: Diagrama de disminución de pérdidas en licor rubio.

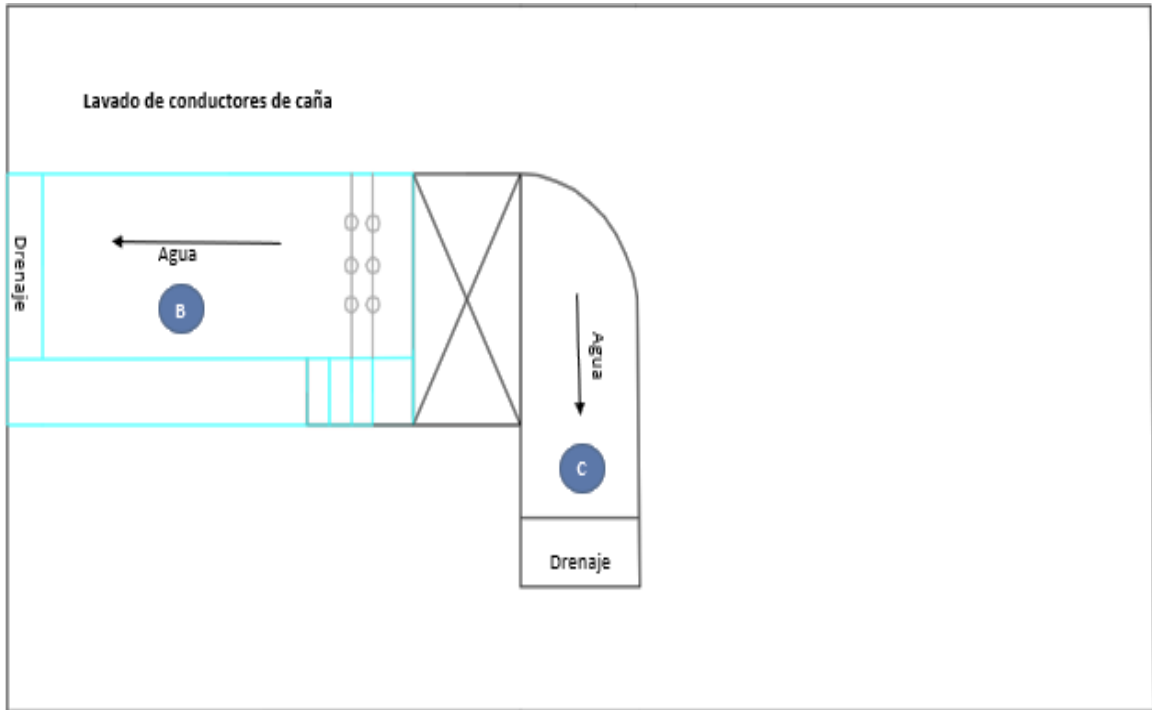


1. Centrifugadora.
2. Bomba de desplazamiento positivo.
3. Bandejas instaladas debajo de bombas.
4. Tanque de tratamiento.
5. Flujo de licor rubio.
6. Tanque de jugos.
7. Proceso de tanque de jugo a centrifugadora.

Nota: Figura No.50 es un diagrama que representa la solución propuesta para disminuir las pérdidas de sacarosa identificadas en la tubería número 23. Se propuso instalar bandejas debajo de las bombas de tanques de tratamiento, para recolectar las fugas de licor y que pudieran ser recirculadas a los tanques de jugos. Todo funciona por gravedad, ya que las bombas están situadas en el segundo nivel de refinería y los tanques de jugo en el primer nivel.

- h. Determinación de pérdida de sacarosa por arrastre en Tándem B
- i. Puntos de control

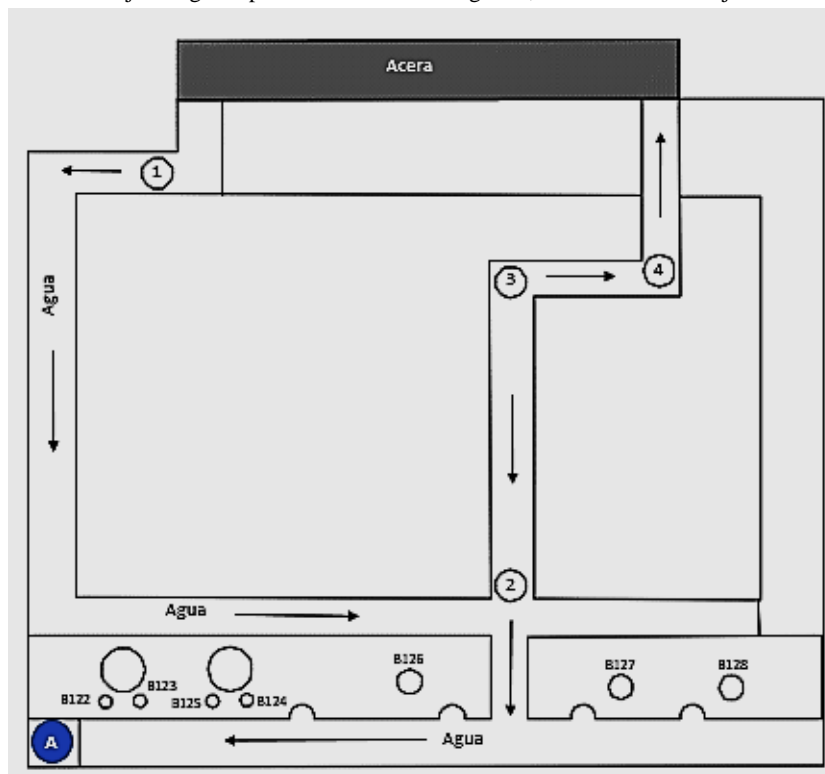
Figura No.51 Diagrama de planta de puntos de toma de muestras en lavado de conductores de caña



Nota: El equipo representado en este esquema se encuentra localizado debajo de los conductores de caña.

Figura No.52. Diagrama de toma de muestras en Tándem B de molinos

Nota: Los canales de drenaje de agua representados en este diagrama, se encuentran debajo de los molinos, los



cuales no se encuentran dibujados en el diagrama.

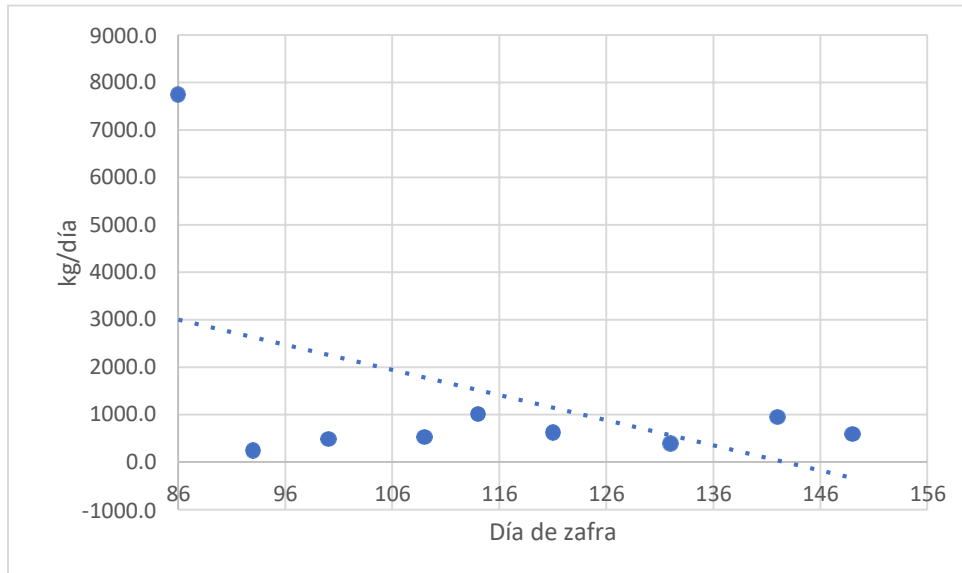
Cuadro No.32. Identificación de los puntos de Figura 51 y 52

ID	Equipo o tubería
A	Tándem B
B	Conductores de caña
C	Canal previo a lavado de conductores
1	Tubería de agua de enfriamiento molino 1 y 2
2	Tubería de agua de enfriamiento molino 3
3	Tubería de agua de enfriamiento molino 4
4	Tubería de agua de enfriamiento molino 5
B122 - B125	Bombas de tanque de jugo
B126 - B128	Bombas de maceración

Nota: Puntos principales de toma de muestra para la determinación de pérdidas de sacarosa.

1. Control de pérdida en puntos de Figura 51 y 52

Figura No.53 Pérdida promedio en Tándem B (punto A de análisis).



Nota: Se puede observar que las pérdidas de azúcar descienden de 7,748.80 kg/día a menos de 1,500 kg/día en los siguientes días de análisis. Esto es debido a que hubo cambio de estopas y mantenimiento constante en las bombas del área de Tándem B, disminuyendo así, la pérdida por fuga en estos equipos.

Figura No. 54. Pérdida promedio en lavado de conductores (punto B de análisis).



Nota: Los conductores son lavados con agua caliente a presión, el bagacillo cae y forma aglomerados en el canal de medición. La sacarosa restante en el bagacillo se disuelve con el agua caliente utilizada, causando la pérdida que se observa en la gráfica. Este es el punto que representa la mayor cantidad de pérdida en Tándem B. Tiene una ligera tendencia decreciente a lo largo de los días de medición, sin embargo, no se tomaron medidas para reducirla.

Cuadro No.33. Pérdida promedio por lavado en canal previo al lavado de conductores de caña (punto C)

Día zafra	Flujo de azúcar promedio (kg/h)	Teladas de caña molida (t/h)	Pérdidas (kg/t caña)	Pérdidas en Parshall Patio (kg/T)	% Pérdida	Pérdida total (kg azúcar/día)
100	37.592 ±0.195	310.509	0.121 ±0.001	0.867	13.963% ±0.072%	2144.20 ±11.131
121	21.615 ±5.519	310.509	0.070 ±0.018	1.648	4.224% ±1.078%	1228.02 ±313.54
132	42.619 ±7.363	325.134	0.131 ±0.023	0.563	23.289% ±4.024%	2385.52 ±412.13
142	40.742 ±7.350	282.544	0.144 ±0.026	2.454	5.876% ±1.060%	2446.26 ±441.29

Nota: No todos los días se tiene pérdida en este punto, esporádicamente lavan la caña y bagacillo que cae al suelo de los conductores, previo al lavado, con una manguera con agua a presión.

Cuadro No.34. Puntos de pérdida de azúcar identificados

Punto	Tipo de pérdida	Explicación	Ilustración en anexos
Bombas de jugo de caña y de maceración	Pérdida física por fuga	Fuga con caudal bajo y alta concentración en el área de prensaestopas.	Figura 106. Fuga en bomba de jugo de caña (B124)
Tanque de jugo de caña	Pérdida física por derramamiento de jugo	Exceso de producción de jugo ocasionó un desborde en el tanque y canal de jugo de caña	Figura 108. Fuga en tanque de jugo de caña
Canal de Tándem	Pérdida física por fuga	Fuga en pequeñas aperturas en las esquinas debajo del Tándem (canal de jugo y maceración del Tándem)	Figura 107. Fugas en canal de molino
Tubería de recolección agua de enfriamiento	Pérdida física por arrastre de jugo con agua de enfriamiento	Se encontró concentración de sacarosa en los efluentes de una tubería de recolección de agua de enfriamiento	Figura 110. Antes y después de tubería agua de enfriamiento molino 1 y 2.
Aperturas entre molino 1 y 2	Pérdida física por fuga	Salpicaduras de jugo de caña por apertura entre molino 1 y 2 del Tándem, estas son luego arrastradas por agua de lavado o agua de enfriamiento.	Figura 109. Fuga entre molino 1 y 2

Continuación de Cuadro No.34. Puntos de pérdida de azúcar identificados

Canal fuera del lavado de conductores de caña	Pérdida física por arrastre de agua de limpieza con sacarosa restante en bagacillo o caña.	Los conductores de caña desechan bagacillo o trozos de caña antes de ingresar al lavado, estos son retirados del camino por una manguera. El agua de la manguera los lleva hacia un canal que donde se tomó la muestra.	<i>Figura 111. Canal atrás de conductores de caña</i>
---	--	---	---

1. Pérdida en bombas de jugo de caña y de maceración.

Cuadro No.35 Pérdida en bombas

ID Bomba	Caudal (L/h)	Inc. (L/h)	Concentración (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Inc. (kg/h)	Molienda (t/h)	Molienda (T/h)	Pérdidas (kg/T)	Inc. (kg/T)
B122	7.604	0.272	54.059	0.740	0.000	0.000	336.84	305.58	0.000	0.000
B124	30.00	3.758	14828	0.740	0.445	0.056	358.40	325.13	0.001	0.000
B126	8.250	0.318	94.133	0.740	0.001	0.000	342.28	310.51	0.000	0.000
B126	13.85	0.807	28286	0.740	0.392	0.023	358.40	325.13	0.001	0.000
B126	15.00	0.946	14282	0.740	0.214	0.014	311.45	282.54	0.001	0.000

Nota: Se estableció reportar tres decimales en los resultados por lo que los resultados en cero significan una pérdida e incertidumbre menor a 0.001 kg/T.

2. Pérdida por arrastre con agua de enfriamiento

a. Pérdida por agua de enfriamiento en chumaceras

Cuadro No.36. Concentración de agua de enfriamiento en caída de agua de chumaceras

Punto de muestra	Pol	Concentración (ppm)	Inc. (ppm)
Molino 1 y 2	0.020	78.889	0.740
Molino 3 y 4	0.020	78.889	0.740
Molino 5	0.010	54.059	0.740

Nota: No se encontró una concentración significativa por lo que no existe fuga en chumaceras.

b. Pérdida por agua de enfriamiento en tuberías de recolección

Cuadro No.37 Concentración de agua de enfriamiento en tuberías de recolección de molino 3, 4 y 5

Tubería	Pol	Concentración (ppm)	Inc. (ppm)
Tubería Agua de enfriamiento molino 3	0.030	103.719	0.740
Tubería agua de enfriamiento molino 4	0.010	54.059	0.740
Tubería agua de enfriamiento molino 5	0.010	54.059	0.740

Nota: No se encontró una concentración significativa de sacarosa.

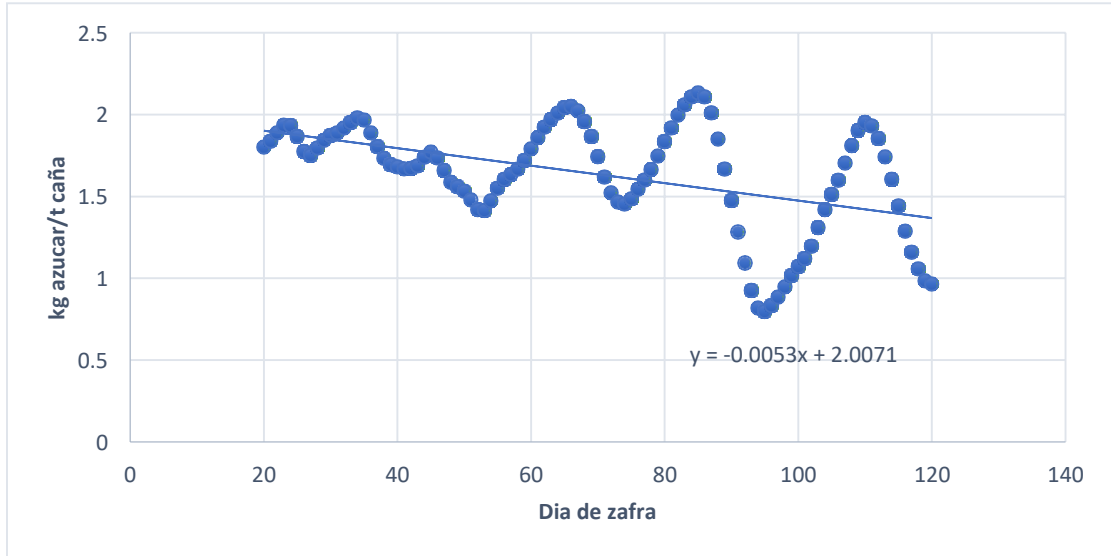
Cuadro No.38 Concentración de agua de enfriamiento en tubería de recolección de molino 1 y 2.

Día de zafra	Concentración (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Inc. (kg/h)	Pérdidas (kg/T)	Inc. (kg/T)
132	5492	0.7400	30.5816	4.7347	0.0941	0.0146
132	103.7	0.7400	0.5776	0.0895	0.0018	0.0003
142	128.5	0.7400	0.7158	0.1109	0.0025	0.0004
149	407.8	0.7400	2.2706	0.8008	0.0072	0.0025

Nota: Al colocar pieza metálica que retuviera la fuga en el día 132, la pérdida redujo.

i. Reducción de pérdida de sacarosa en zafra 2017-2018

Figura 55. Promedio de pérdidas de azúcar en canal Parshall de Patio durante zafra 2017-2018



Fuente: Ingenio azucarero, se le realizó un método de promedio móvil a los datos originales. El gráfico original se encuentra en Anexos.

Figura 56. Pérdidas semanales de azúcar en Parshall de patio durante zafra 2017-2018

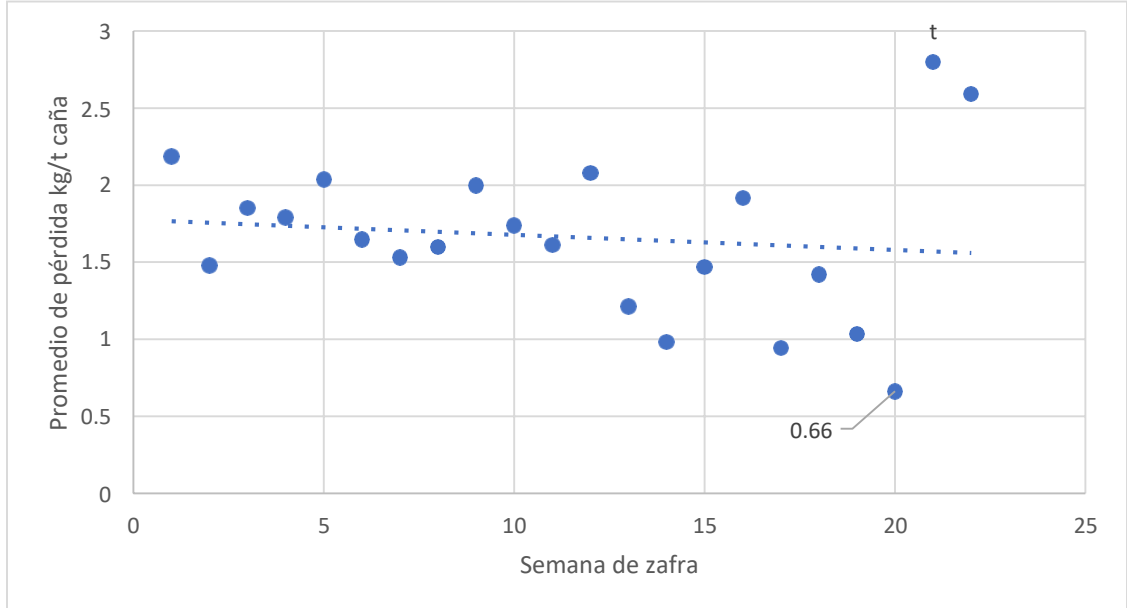
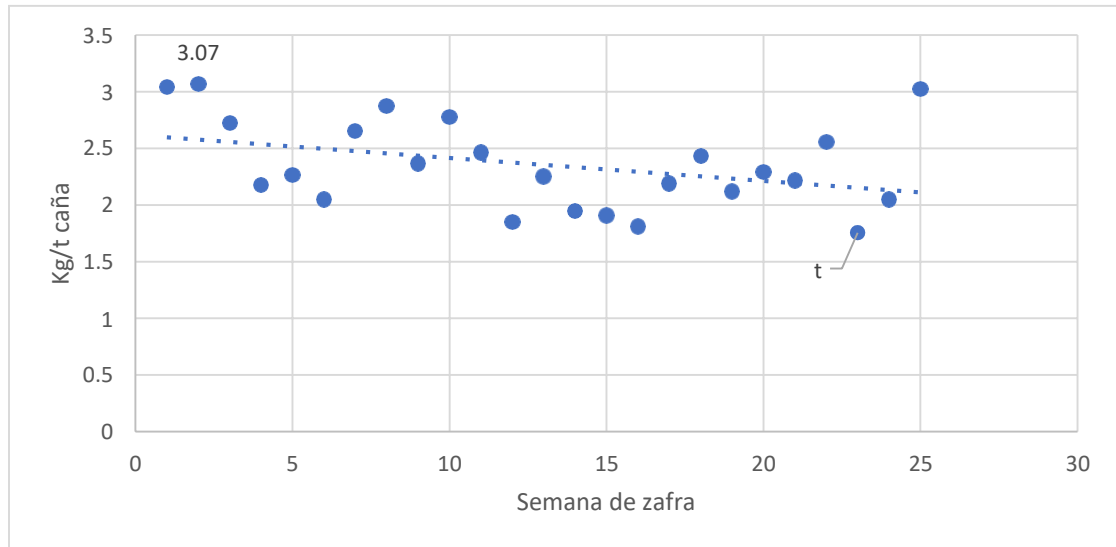


Figura 57. Pérdidas semanales de azúcar en canal Parshall de Patio durante zafra 2016-2017



Nota: Cabe resaltar que los resultados pueden verse afectados debido a que no se realizó lavado de caña durante la zafra 2017-2018, mientras que, en el periodo de zafra 2016-2017 sí se utilizaron las mesas de lavado diariamente.

j. Identificación de las causas de pérdida de azúcar en los puntos de control de Tándem B de molinos y conductores de patio de caña

Cuadro No.39. Identificación de pérdidas de sacarosa por arrastre en Tándem B

Punto	Tipo de pérdida	Explicación	Ilustración en anexos
Bombas de jugo de caña y de maceración	Pérdida física por fuga	Fuga con caudal bajo y alta concentración en el área de prensaestopas.	Figura 106. Fuga en bomba de jugo de caña (B124)
Tanque de jugo de caña	Pérdida física por derramamiento de jugo	Exceso de producción de jugo ocasionó un desborde en el tanque y canal de jugo de caña	Figura 108. Fuga en tanque de jugo de caña
Canal de Tándem	Pérdida física por fuga	Fuga en pequeñas aperturas en las esquinas debajo del Tándem (canal de jugo y maceración del Tándem)	Figura 107. Fugas en canal de molino
Tubería de recolección agua de enfriamiento	Pérdida física por arrastre de jugo con agua de enfriamiento	Se encontró concentración de sacarosa en los efluentes de una tubería de recolección de agua de enfriamiento	Figura 110. Antes y después de tubería agua de enfriamiento molino 1 y 2.
Aperturas entre molino 1 y 2	Pérdida física por fuga	Salpicaduras de jugo de caña por apertura entre molino 1 y 2 del Tándem, estas son luego arrastradas por agua de lavado o agua de enfriamiento.	Figura 109. Fuga entre molino 1 y 2
Canal fuera del lavado de conductores de caña	Pérdida física por arrastre de agua de limpieza con sacarosa restante en bagacillo o caña.	Los conductores de caña desechan bagacillo o trozos de caña antes de ingresar al lavado, estos son retirados del camino por una manguera. El agua de la manguera los lleva hacia un canal que donde se tomó la muestra.	Figura 111. Canal atrás de conductores de caña

Nota: La principal causa de pérdida encontrada es debido a fugas en equipos, es necesario un control constante del estado de los equipos de esta área para asegurar el correcto funcionamiento de los mismos y tomar acción inmediata para mitigar fugas.

1. Pérdida en bombas de jugo de caña y de maceración

Cuadro No.40. Pérdida en bombas centrífugas de jugo de caña y de maceración

ID Bomba	Concentración (ppm)	Flujo (kg/h)	Molienda (t/h)	Pérdidas (kg/t)
B122	54.059±0.74	0.00±0.00	305.58	0.00±0.00
B124	14828±0.74	0.445±0.056	325.13	0.001±0.00
B126	94.133±0.74	0.001±0.00	310.51	0.00±0.00
B126	28286±0.74	0.392±0.023	325.13	0.001±0.00
B126	14248±0.74	0.214±0.014	282.54	0.001±0.00
Promedio				0.001
Total, pérdidas (kg/día)				10.198

Nota: Se estableció reportar tres decimales en los resultados por lo que los resultados en cero significan una pérdida e incertidumbre menor a 0.001 kg/t. Se observa que la pérdida es mínima, sin embargo, por la concentración alta es necesario tener un plan de mantenimiento estricto a estos equipos.

2. Pérdida por arrastre con agua de enfriamiento

a. Pérdida por agua de enfriamiento en chumaceras

Cuadro No.41. Pérdida por arrastre con agua de enfriamiento en chumaceras

Promedio de concentración (ppm)	70.612
Caudal total (m^3/h)	42.855
Flujo de azúcar (kg/h)	3.0261
Pérdida (kg/t)	0.0104
Pérdida (kg/día)	176.92

Nota: Para determinar la pérdida por fuga en chumaceras se realizó un promedio de la concentración de las muestras obtenidas y se multiplicó por el caudal total de agua de enfriamiento que cae en canales y tuberías de recolección del Tándem. Se obtiene una pérdida significativa en comparación con lo determinado por arrastre en Tándem B (punto A de control).

b. Pérdida por agua de enfriamiento en tuberías de recolección

Cuadro No.42. Concentración de agua de enfriamiento en tuberías de recolección de molino 3, 4 y 5

Tubería	Pol	Concentración (±0.74 ppm)	Caudal (L/h)	Flujo (kg/h)	Pérdida (kg/t)	Pérdida diaria (kg/día)
Tubería Agua de enfriamiento molino 3	0.03	103.719	1572.8 ± 57.926	0.163±0.006	0.001	9.537±0.147
Tubería agua de enfriamiento molino 4	0.01	54.059	480.9 ± 15.386	0.026±0.001	0.000	1.520±0.022
Tubería agua de enfriamiento molino 5	0.01	54.059	60.470 ± 2.079	0.003±0.000	0.000	0.191±0.003

Nota: Se obtiene una concentración de sacarosa baja en las tuberías de agua de enfriamiento del molino 4 y 5. Por el caudal alto en la tubería de agua de enfriamiento del molino 3 se observa una pérdida mayor a 2 kg/día, lo cual no representa una cantidad significativa en comparación con lo que se obtiene por arrastre en Tándem B.

Cuadro No.43. Concentración de agua de enfriamiento en tubería de recolección de molino 1 y 2.

Día de zafra	Concentración (±0.74 ppm)	Flujo (kg/h)	Pérdidas (kg/t)	Pérdida diaria (kg/día)
132	5492	30.5816 ±4.734	0.0941 ±0.0146	1598.75 ±247.52
132	103.7	0.5776 ±0.089	0.0018 ±0.0003	30.194 ±4.680
142	128.5	0.7158 ±0.110	0.0025 ±0.0004	43.063 ±6.672
149	407.8	2.2706 ±0.800	0.0072 ±0.0025	122.112 ±43.065

Nota: Al colocar pieza metálica que retuviera la fuga en el día 132, la pérdida redujo de forma significativa pero no se logró mitigar.

k. Pérdida en Tándem B de molinos y porcentaje correspondiente a efluentes de Parshall de patio

Cuadro No.44. Promedio de pérdidas totales en Tándem B de molinos

Día de zafra	Pérdidas (kg/t caña)	Pérdidas en Parshall (kg/t)	% Pérdida	Pérdida total en Tándem (kg azúcar/día)
86	0.455 ±0.149	0.720	63.18% ±20.74%	7748.8 ±2544.37
93	0.014 ±0.003	0.710	1.97% ±0.47%	247.60 ±59.05
100	0.520 ±0.103	0.867	59.96% ±11.89%	9208.4 ±1825.77
109	0.170 ±0.039	2.353	7.23% ±1.68%	2862.2 ±663.95
114	0.539 ±0.094	0.953	56.59% ±9.87%	9677.1 ±1687.73
121	0.611 ±0.091	1.648	37.06% ±5.49%	10774.3 ±1596.77
132	0.418 ±0.040	0.563	74.34% ±7.18%	7615.1 ±735.43
142	0.513 ±0.080	2.454	20.92% ±3.24%	8709.4 ±1349.79
149	0.326 ±0.070	1.937	16.81% ±3.64%	5864.5 ±1268.83
Desviación	0.194	Desviación	26.85%	3430.5
Min	0.014	Min	1.974%	247.60
Máx	0.611	Máx	74.34%	10774.3

Nota: Para obtener los resultados de este Cuadro, se realizó un promedio por día de toma de muestra. La sumatoria de los puntos de control establecidos anteriormente indican la pérdida total por arrastre en Tándem B. El porcentaje de pérdida se obtiene comparando lo obtenido por arrastre en Tándem B con lo reportado en los efluentes de Parshall.

2. Intervalo de confianza de la media poblacional con distribución t de Student

a. Intervalo de media poblacional de porcentaje de pérdida de sacarosa en Tándem B de molinos con respecto a lo obtenido en medidor Parshall de patio

$$21.75\% \leq \mu \leq 46.53\%$$

Intervalo de confianza de media poblacional de pérdidas de sacarosa en Tándem B

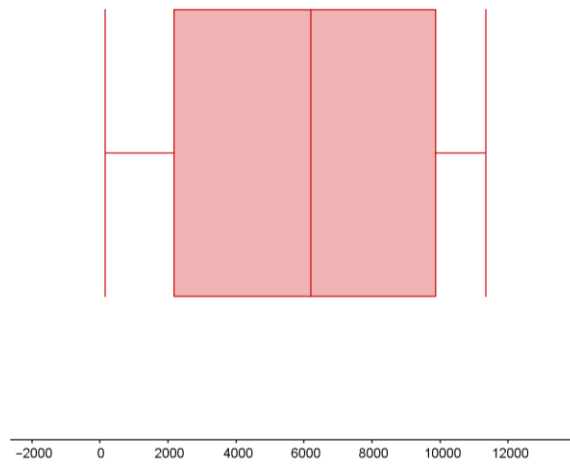
$$4,130.82 \frac{kg}{día} \leq \mu \leq 7,443.77 \frac{kg}{día}$$

$$\text{Margen de error: } 1,656.47 \frac{kg}{día}$$

Nota: Resultados obtenidos en Geogebra, con un 95% de confianza, analizando los datos que se encuentran en el Cuadro 24 del área de Anexos.

3. Diagrama de caja y bigote de pérdida diaria de azúcar en Tándem B

Figura No.58. Diagrama de caja y bigote de pérdida total de azúcar en puntos de control de Tándem B



- Se tiene un rango amplio, de 11,193 kg/día.
- La mediana de la muestra es de 6,190.50 kg/día
- El 25% de la muestra se encuentra en 2,178.80 kg/día de pérdida y el 75% de la muestra se encuentra en 9,870.00 kg/día de pérdida.
- No se tienen datos atípicos en la muestra.

1. Programa de mantenimiento de bombas de jugo de caña y maceración

Cuadro No.45. Programa de mantenimiento preventivo, periódico y predictivo de bombas de jugo de caña y maceración según proveedor y análisis de avisos de mantenimiento e intervenciones durante zafra

RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE MACERACIÓN Y JUGO DE CAÑA EN ZAFRA					
DEPTO.	EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE	NIVEL ACEPTABLE
Molienda	Bombas de jugo de caña y de maceración	Inspección visual del equipo	2 veces por semana como mínimo	Mecánico de turno/Operador	Cero fugas
		Rectificación del eje o flecha	Cada 6 meses (Reparación de zafra)	Mecánico encargado	Según experiencia
		Revisión de fugas en el empaque	2 veces por semana como mínimo	Operador	Cero fugas
		Inspección por corrosión o desgaste	Cada 6 meses (Reparación de zafra)	Mecánico encargado	Bajo
		Sustitución de camisa del eje	Según resultados en rectificación del eje	Mecánico encargado	Eje no gastado
		Sustitución de estopas	Según resultados de la inspección visual	Mecánico encargado	Cero fugas
		Paro por mantenimiento de bombas	Cada 15 días	Mecánico encargado, ingeniero del área	Corrección de los problemas encontrados en inspección visual

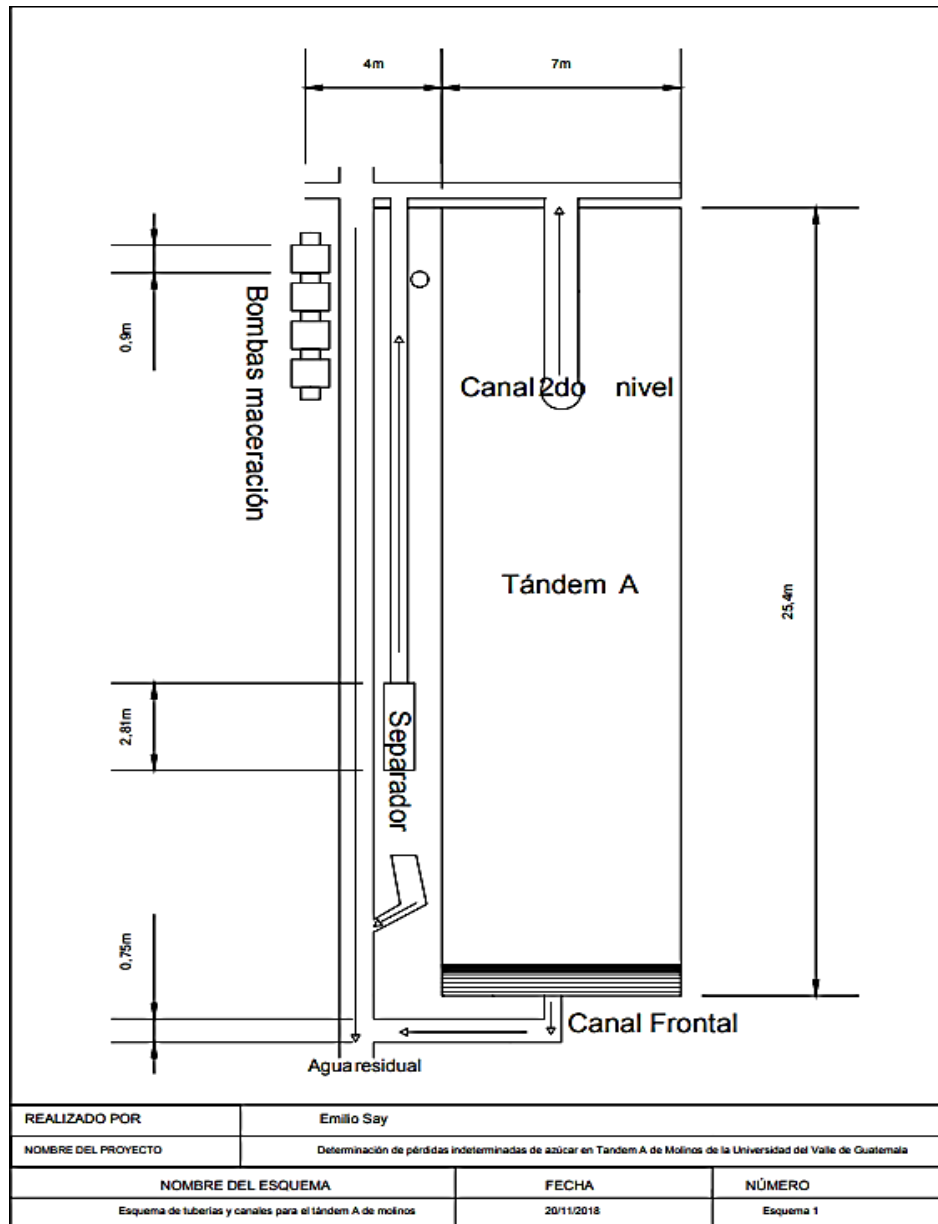
Nota: Las principales bombas a las que se detectó problema son B124 (bomba de tanque de jugo colado de 8x10x13" de 1200 RPM) y B126 (Bomba de maceración de 6x6x11"). Para mayor detalle revisar **Cuadro No. 35.**

1. Uno de los principales proveedores de bombas recomienda que, las inspecciones visuales de equipo y revisiones por fugas en empaque se realicen, como mínimo, una vez a la semana; sin embargo, por las fugas constantes observadas y el trabajo diario de manera continua de estos equipos en el proceso de molienda, es necesario realizar estos procedimientos más de dos veces a la semana.

2. Es posible realizar paradas de cada 15 días en molienda por mantenimiento de equipo, pero esto significa tiempo perdido en el proceso. El ingenio contabiliza el tiempo perdido en Tándems y se realizan reportes diarios del mismo. Durante la zafra 2016-2017 se tuvo un total de 11 horas de tiempo perdido en molinos.

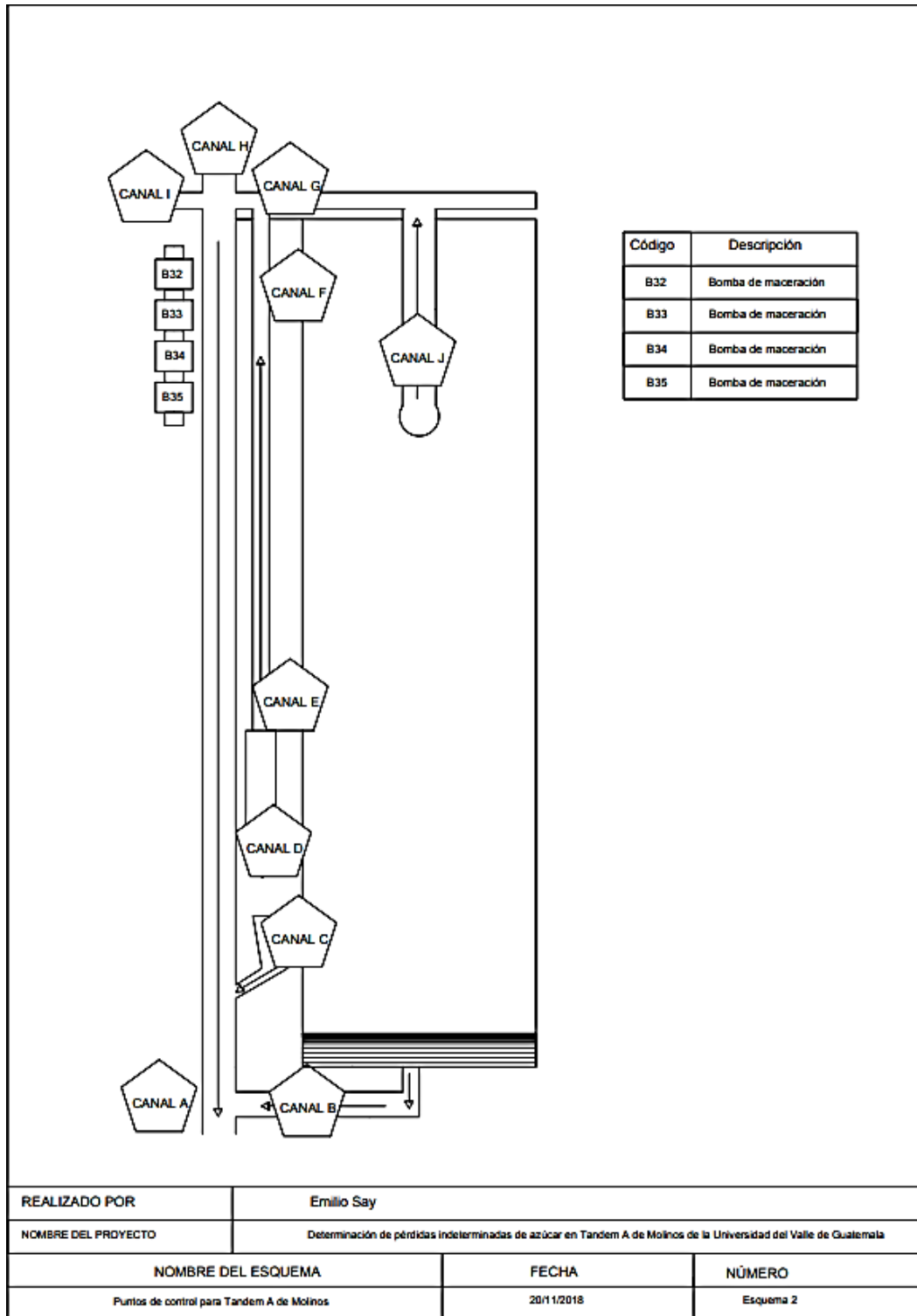
m. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña

Figura No.59 Corte de planta de efluentes para Tándem A.



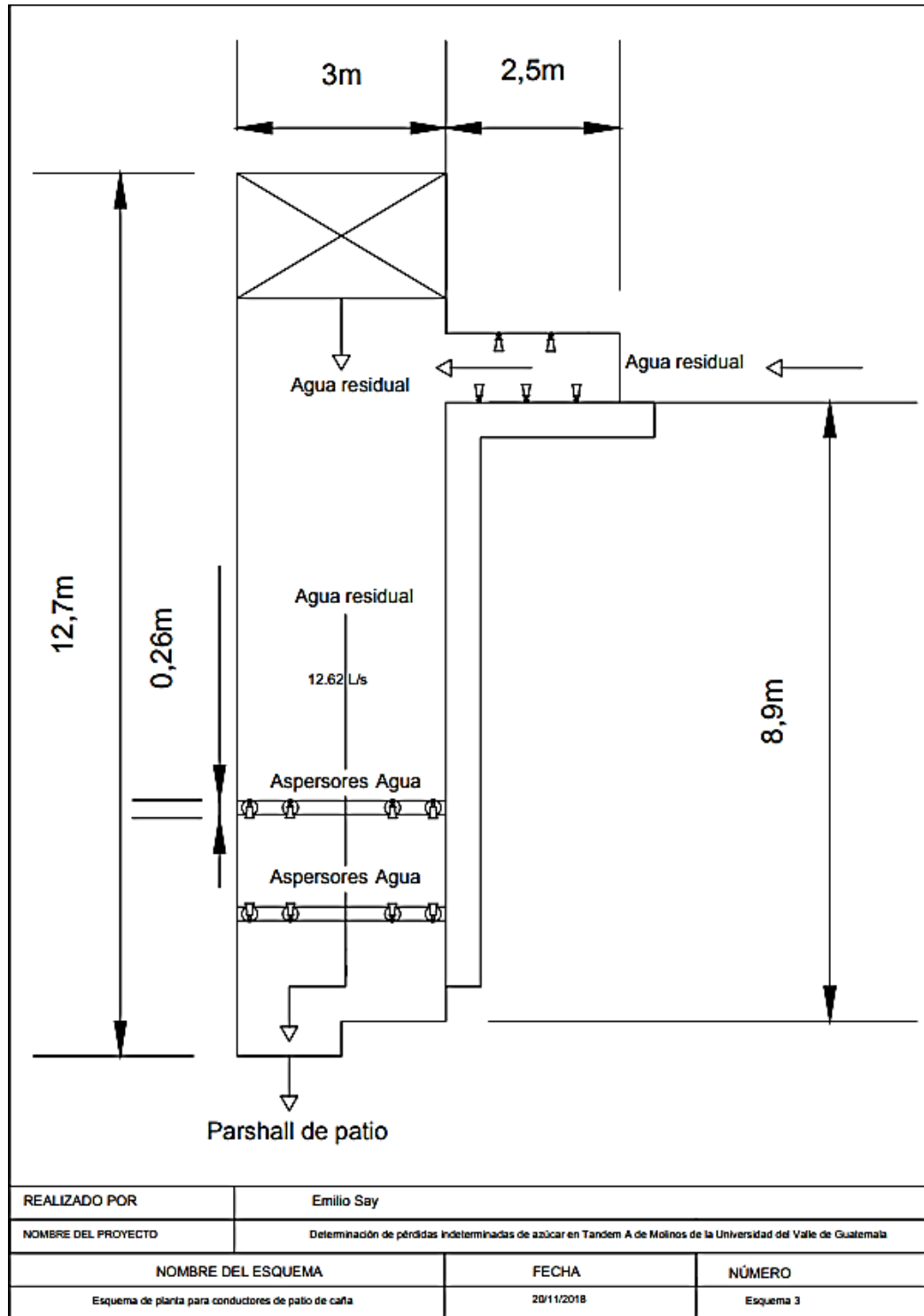
Nota: Las masas de molinos, conductores de caña de molinos, coronas de las masas, inyectores de agua y escaleras del equipo, se encuentran sobre los canales mostrados en el esquema.

Figura No.60 Corte de principales puntos de control establecidos.



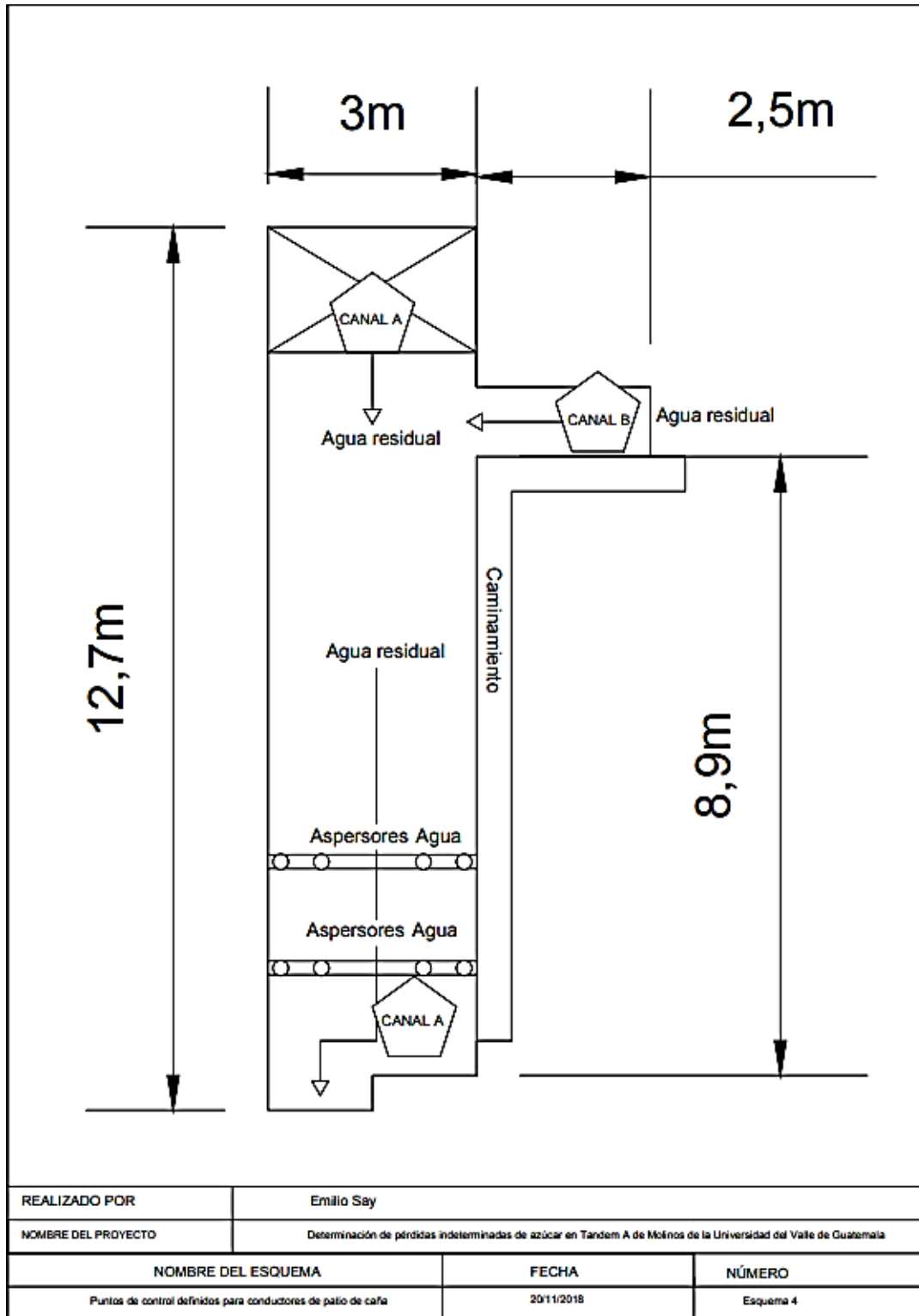
Nota: Los pentágonos en el esquema representan puntos de control que fueron colocados en las salidas de tuberías o canales posteriores a los equipos. Este esquema hace referencia a los equipos de Figura No.49

Figura No.61 Dibujo de planta para conductores de patio de caña



Nota: En el esquema se tomó en cuenta solo el canal principal de agua residual que estaba bajo las mesas de preparación de caña. Los conductores de tablillas se encuentran sobre los canales mostrados en el esquema, en dirección contraria a los flujos de agua. El agua residual que entra al sistema proviene de agua de enfriamiento.

Figura No.62 Principales puntos de control identificados para conductores de patio de caña



Nota: Los puntos de control (pentágonos) fueron colocados según los procesos de inyección de agua en los canales bajo los conductores de tablillas. Este esquema hace referencia a los equipos mostrados en Figura No.97.

Cuadro No.46 Porcentaje de aportación del Tándem A de molinos y conductores de caña en relación a las pérdidas reportadas en el parshall de patio

Pérdidas de azúcar en Conductores de caña y Tándem A de molinos						
No.	Descripción	Promedio de pérdidas (kg/día)	Rango de pérdidas de azúcar (kg/ día)		Aportación vs reportadas en canal Parshall de patio	
			Inferior	Superior	% vs límite inferior	% vs límite superior
A	Conductores en patio A de caña	7826.94 ± 313.1	5,769.46	16,776.40	17.4%	50.6%
B	Tándem A de molinos	11272.93 ± 1388.9	5,222.67	10,431.21	15.7%	31.4%
Total	Tándem y Conductores	19099.87 ± 851	10,992.14	27,207.60	33.1%	82.0%

Nota: Los rangos fueron determinados según a un análisis estadístico, de diagramas de caja y bigote, basados en los percentiles 25% y 75%

Cuadro No.47 Pérdidas de azúcar identificadas en puntos de control vs total de pérdidas en Parshall de helipuerto

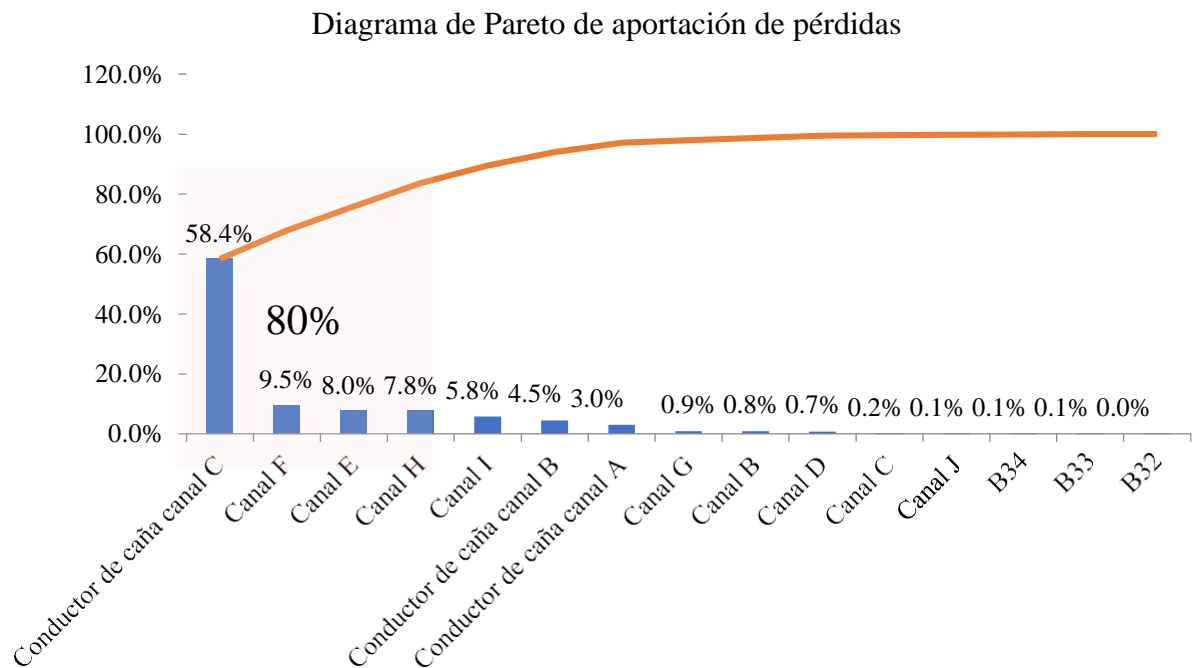
Pérdidas de azúcar en puntos de control y porcentaje de aportación vs el promedio de pérdidas del ingenio					
Descripción	Promedio de pérdidas (kg/día)	Rango de pérdidas de azúcar (kg/ día)		Aportación de pérdidas vs reportadas en canal Parshall de patio	
		Inferior	Superior	% vs límite inferior	% vs límite superior
Conductor de caña canal A	652.81 ± 111.1	421.42	874.20	4.6%	0.2%
Conductor de caña canal B	694.93 ± 123.1	83.92	1,305.94	0.3%	3.9%
Conductor de caña canal C	11272.93 ± 1388.9	5,769.46	16,776.40	17.4%	50.6%
B32	8.97 ± 0.5	8.59	9.35	0.0%	0.0%
B33	12.66 ± 65.6	10.37	14.95	0.0%	0.0%
B34	30.08 ± 189.6	27.45	32.71	0.1%	0.1%
Canal A	7826.94 ± 313.1	5,222.67	10,431.21	15.7%	31.4%
Canal B	131.53 ± 14.8	29.47	233.59	0.1%	0.7%
Canal C	33.01 ± 11.4	17.50	48.52	0.1%	0.1%

Continuación de Cuadro No.47 Pérdidas de azúcar identificadas en puntos de control vs total de pérdidas en Parshall de helipuerto

10	Canal D	173.76 ± 24.9	139.27	208.25	0.4%	0.6%
11	Canal E	1817.8 ± 105.9	1,338.35	2,297.25	4.0%	6.9%
12	Canal F	2222.61 ± 83.2	1,705.87	2,739.35	5.1%	8.3%
13	Canal G	139.26 ± 68.4	27.65	250.87	0.1%	0.8%
14	Canal H	1545.33 ± 71.7	850.02	2,240.64	2.6%	6.8%
15	Canal I	1189.26 ± 811.4	710.59	1,667.93	2.1%	5.0%
16	Canal J	18.17 ± 0.4	0.65	35.69	0.0%	0.1%

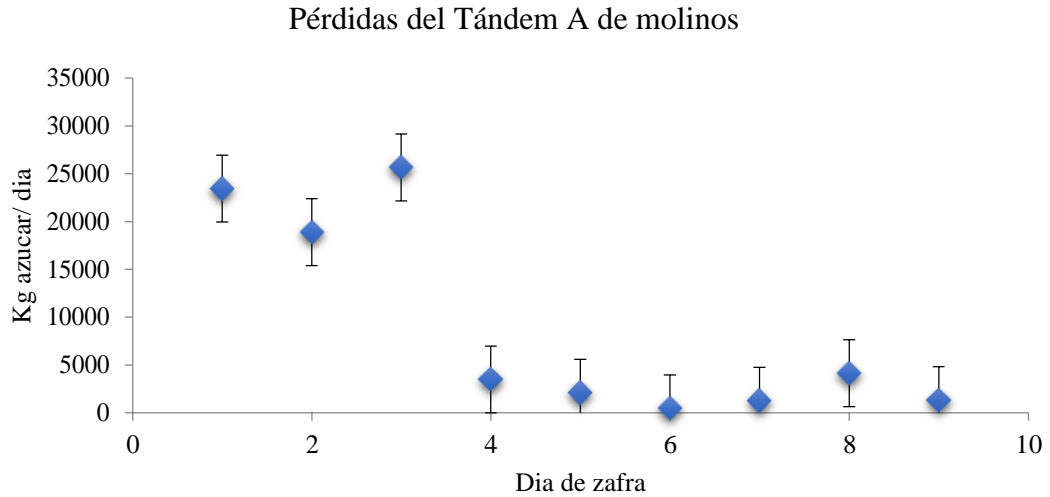
Nota: Se realizaron diagramas de caja y bigote para poder determinar los rangos en percentiles 25% y 75% (Ver anexos)

Figura No.63 Diagrama de Pareto de pérdidas en puntos de control de Tándem A de molinos y conductores de caña



Nota: Utilizando el diagrama, se determinó que el 80% del aporte se encuentra dentro de los 4 canales identificados dentro del rectángulo que son el punto de control en conductores de caña, el canal F,E y H del Tándem de molinos. Datos obtenidos de Cuadro No. 47.

Figura No.64 Comportamiento de pérdidas de Tándem A en zafra 2017-2018



Nota: Se muestran las pérdidas en kg/día del Tándem A de molinos. La alta variación se debe a un ajuste de coronas en segundo nivel de los equipos, lo cual redujo considerablemente las filtraciones de jugo que eran lavados por el agua de enfriamiento.

Cuadro No.48 Documentos propuestos para control y seguimiento de mantenimiento en bombas de Tándem A de molinos.

Documentos de seguimiento para bombas de maceración y jugo mezclado				
No	Nombre	Páginas	Detalle	Ubicación
1	Archivo para seguimiento de reparación de bombas en Tándem A	2	Documento donde se puede ver el resumen de gastos y cantidad de reparaciones que se han realizado en las bombas por mes/día	Anexos: Cuadro No.25
2	Cronograma de control para pérdidas de bombas en Tándem A	2	Documento para ver el cronograma de actividades para el control de las bombas de Tándem A	Anexos: Cuadro No.26


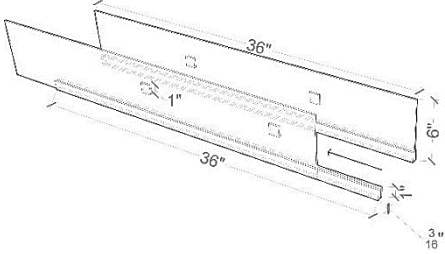

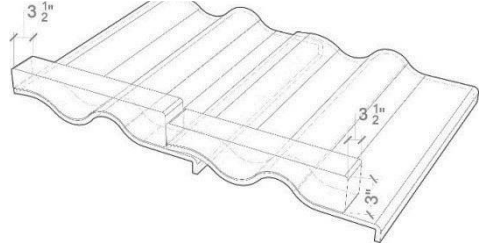
Nota: Los documentos de Excel fueron creados utilizando los documentos que se tenían actualmente como alimentadores, para poder alinearse a los procesos del ingenio.

n. Diagramas de implementaciones

Cuadro No.49: Causas y soluciones obtenidas del análisis por diagrama de Ishikawa y lluvia de ideas, respectivamente.

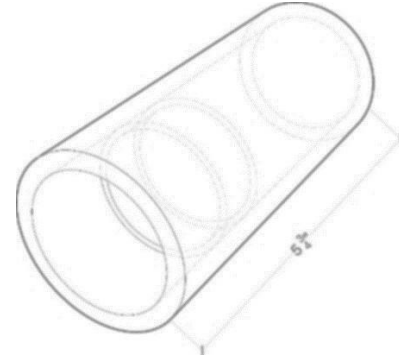
Propuesta	Causa principal	Solución propuesta
No. 1	Abertura que permite que el salpicado salga.	Implementación de ventanilla móvil en abertura.
No. 2	Extremos de conductores doblados dejando espacio que el bagacillo se caiga.	Implementación de Matajuntas.
No. 3	Camisas de bombas deterioradas.	Cambio de camisas por unas nuevas.
No. 4	Camisas de bombas deterioradas – exceso de magma	Implementación de bandejas captadoras.

Cuadro No.50 Comparación gráfica de situación actual contra diseño propuesto.

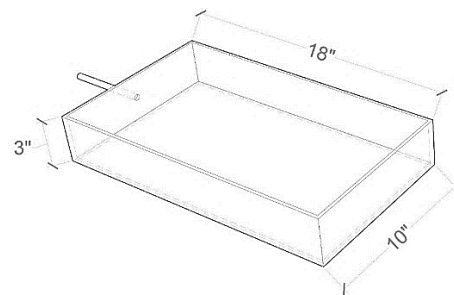
Propuesta	Situación actual	Sketch propuesto
No. 1		
No. 2		

Continuación de Cuadro No.50 Comparación gráfica de situación actual contra diseño propuesto.

No. 3



No. 4



Nota: Para mayor detalle de bosquejos ver Figuras No.153, No.155, No.157 y No.159 contenidas en la sección de Anexos.

o. Costo de los materiales

Cuadro No.51: Costo de materiales requeridos para la propuesta No.1 según Cuadro No.49.

Corporativo	Materiales	Costo
999	LÁMINA HIERRO NEGRO 96" X 48" X 3/16"	Q612.48
6778	VARILLA CORRUGADA 240" X 3/8"	Q20.60
1790	HEMBRA HIERRO NEGRO 720" X 1" X 3/16"	Q97.80
5186	ELECTRODO E7018 GENERIC (LIBRAS)	Q26.30
37646	DISCO P/PULIR 1/4" X 7/8" X 4-1/2"	Q22.50
5053	ACETILENO (CILINDRO)	Q384.84
5049	OXÍGENO (CILINDRO)	Q138.79
Costo total S/IVA		Q1,303.31

Cuadro No.52 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.2

Corporativo	Materiales	Costo
Externo	MATAJUNTAS ACERO FUNDIDO	Q24,200.00
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO (LB)	Q299.82
Costo Total S/IVA		Q24,499.82

Cuadro No.53 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.3 según Cuadro No.49.

Corporativo	Materiales	Costo
79844	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENÉRICO	Q1,174.41
Costo total S/IVA		Q1,174.41

Cuadro No.54 Costo de materiales requeridos para la propuesta No.4 según Cuadro No.49.

Corporativo	Materiales	Costo
999	LÁMINA HIERRO NEGRO 96" X 48" X 3/16"	Q612.48
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO (LB)	Q78.90
Costo total S/IVA		Q691.38

p. Costo de mano de obra

Cuadro No.55 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.1

Mano de obra	Salario/hora (C/Bonificaciones)	Tiempo requerido	Costo total
Ayudante	Q17.00	16 horas	Q271.98
Soldador Especializado	Q24.98	16 horas	Q399.66
Costo Total			Q671.64

Cuadro No.56 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.2

Mano de obra	Salario/hora (C/Bonificaciones)	Tiempo requerido	Costo total
Soldador especializado	Q24.98	12 días	Q2398.08
Costo total			Q2398.08

Cuadro No.57 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.3

Mano de obra	Salario/hora (C/Bonificaciones)	Tiempo requerido	Costo total
Tornero de primera (Encargado de Bushings)	Q20.80	39 horas	Q811.2
Mecánico de primera	Q24.98	6 horas	Q149.85
Ayudante	Q17.00	6 horas	Q101.97
Costo total			Q1,063.02

Cuadro No.58 Costo de mano de obra requerido para la propuesta No.4

Mano de obra	Salario/hora (C/Bonificaciones)	Tiempo requerido	Costo total
Soldador de segunda	Q19.35	3 días	Q464.49
Ayudante	Q17.00	3 días	Q407.97
Costo total			Q872.46

Cuadro No.59 Costo total requerido para cada propuesta

Propuesta	Costo materiales	Costo mano de obra	Costo total
No. 1	Q1,303.31	Q671.64	Q1,974.95
No. 2	Q24,499.82	Q2,398.08	Q26,897.90
No. 3	Q1,174.41	Q1,063.02	Q2,237.43
No. 4	Q691.38	Q872.46	Q1,563.84
Costo total			Q32,674.12

Q. Estandarización de proceso de costos

Figura No.65 Estructura de documentación del proceso de costeo

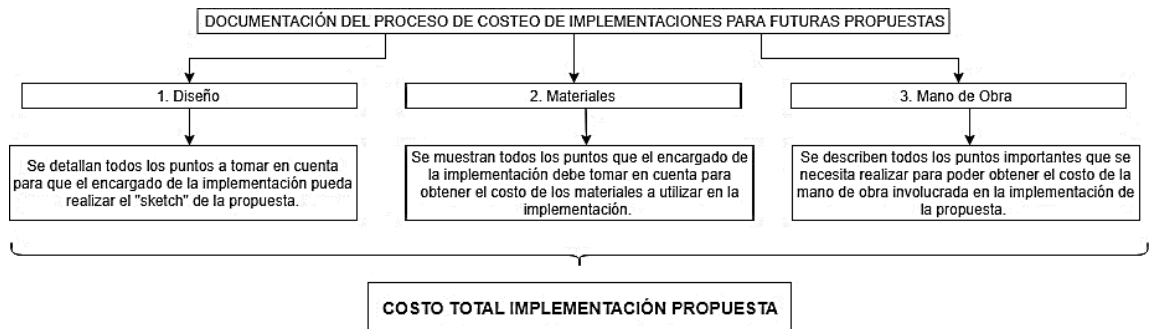
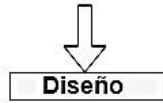


Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo



Concepto: Se refiere a una representación visual que brinde las características requeridas para la implementación de la propuesta.

Aspectos a tomar en cuenta:

Etapa de observación:
Responsable: Evaluador/Ingeniero

1. Diagrama de Ishikawa: Entender las causas del problema



2. Lluvia de Ideas: En base a las causas, proponer soluciones que eliminen el problema.



Etapa de Evaluación:
Responsable: Ing. a cargo de Área/Evaluador

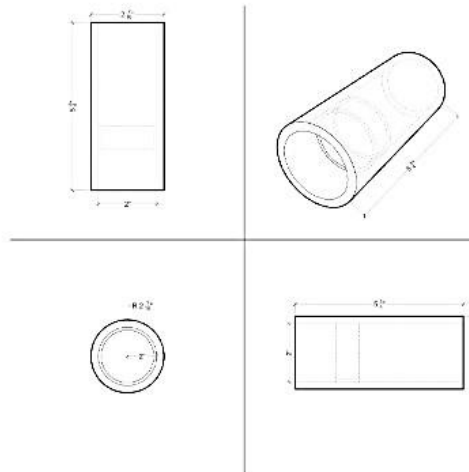
3. Toma de decisión: Escoger, en base a lo observado la solución más viable y conveniente para el problema.



Cambio de camisas de las bombas

Etapa de Ejecución:
Responsable: Ing. a cargo de Área/Diseñador Arquitecto

4. Toma de medidas: Se refiere a las medidas del lugar donde sera implementada la propuesta.
5. Diseño: En base a las medidas tomadas, se realiza un sketch en un software de diseño asistido



Continuación Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo.



Costo Insumos

Se refiere todos los materiales requeridos para realizar la propuesta en base al diseño

Aspectos a tomar en cuenta:

Etapa de Investigación:

Responsable: Evaluador/Ing. a cargo

1. Investigación del lugar: Entender las condiciones del lugar.
2. Retroalimentación: Obtener feedback por parte del encargado del área para determinar los materiales adecuados a utilizar para implementar la propuesta.

Etapa de Evaluación:

Responsable: Ing. a cargo de Área/Operarios

3. Toma de decisión: En base a la etapa de investigación, escoger los materiales que más se adecúan a las condiciones del lugar.

EJEMPLO:

CORPORATIVO	DESCRIPCION	UN/BUSHING	UM
79844	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENERIC	6	PULGAGAS

Etapa de Costeo:

Responsable: Ing. a cargo de Área

Cotización por medio sistema interno: Se cotiza por medio de los materiales existentes en almacén, donde se obtienen los costos de los materiales para la implementación.

CORPORATIVO	DESCRIPCION	UN	UM	CANTIDAD	COSTO/ BUSHING	COSTO TOTAL
79844	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENERIC	6	PULGAGAS	3	Q391.47	Q1,174.41

Si no se dispone del material internamente:

Responsable: Departamento de Compras

Cotización por medio del departamento de compras: Se brinda la información detallada de los materiales requeridos para obtener la cotización.

Continuación Figura No.66 Documentación del proceso estándar de costeo.



Costo Mano de Obra

Se refiere a los recursos humanos necesarios para llevar a cabo la implementación de la propuesta a realizar.

Aspectos a tomar en cuenta:

Etapa de Investigación:

- Responsable: Evaluador/Ing. a cargo
1. Establecer tipo de mano de obra: En base a la naturaleza de la implementación se determina el tipo de personal necesario.
- Responsable: Área de Recursos humanos
2. Rango de especialización del personal requerido para la implementación: Se refiere al puesto que ocupa el personal requerido para realizar e implementar la propuesta.

EJEMPLO:

CLASIFICACION SALARIAL/DIA PERSONAL INGENIO			
Descripción	Clasificación	Salario/hora (S/Prestaciones)	Salario/hora (C/Prestaciones)
MECANICO	Mecánico de primera	Q16.65	Q24.98
	Mecánico de segunda	Q13.87	Q20.80
TORNERO	Tornero de primera	Q13.87	Q20.80
	Tornero de segunda	Q13.12	Q19.67
AYUDANTE	Ayudante	Q11.33	Q17.00
SOLDADOR	Soldador de primera	Q14.35	Q21.52
	Soldador de segunda	Q12.90	Q19.35
	Soldador Especializado	Q16.65	Q24.98

- Responsable: Operarios encargados de implementación
2. Tiempos:
 - Tiempo de fabricación: Se refiere al tiempo del personal necesario para fabricar la propuesta a implementar.
 - Tiempo de instalación: Se refiere al tiempo del personal necesario para la implementación de la propuesta en el área delimitada.

Tiempo de Instalación			Tiempo de Fabricación		
#	Descripción	Tiempo requerido	#	Descripción	Tiempo requerido
1	Mecánico Primera	2 horas/bomba	1	Tornero	13.07/bushing
1	ayudante	2 horas/bomba			

- Responsable: Operarios encargados de implementación
3. Rango salariales: Se refiere a la remuneración por unidad de tiempo del personal involucrado para la implementación de la propuesta.

Costo/hora Mano Obra Instalación					Costo/hora Mano Obra Fabricación				
#	Descripción	Tiempo requerido	Costo/día	Costo/hora	#	Descripción	Tiempo requerido	COSTO/HORA	
1	Mecánico Primera	2 horas/bomba	Q133.22	Q16.65	1	Tornero	13.07/bushing	Q110.90	
1	ayudante	2 horas/bomba	Q90.66	Q11.33					

Etapa de Costeo:

Responsable: Operarios encargados de implementación

Cálculo de costo de Mano de obra: En base a la etapa de investigación, se calcula el costo que se incurrirá de mano de obra, tomando en cuenta la remuneración por unidad de tiempo y el tiempo que ocupa el personal indicado para implementar la propuesta.

Costo Mano Obra Fabricación	Q4,348.38
Costo Mano Obra Instalación	Q167.91
Costo Total Mano de Obra (3 Bombas)	Q4,516.29

Figura No.67 DOP para el proceso de costeo

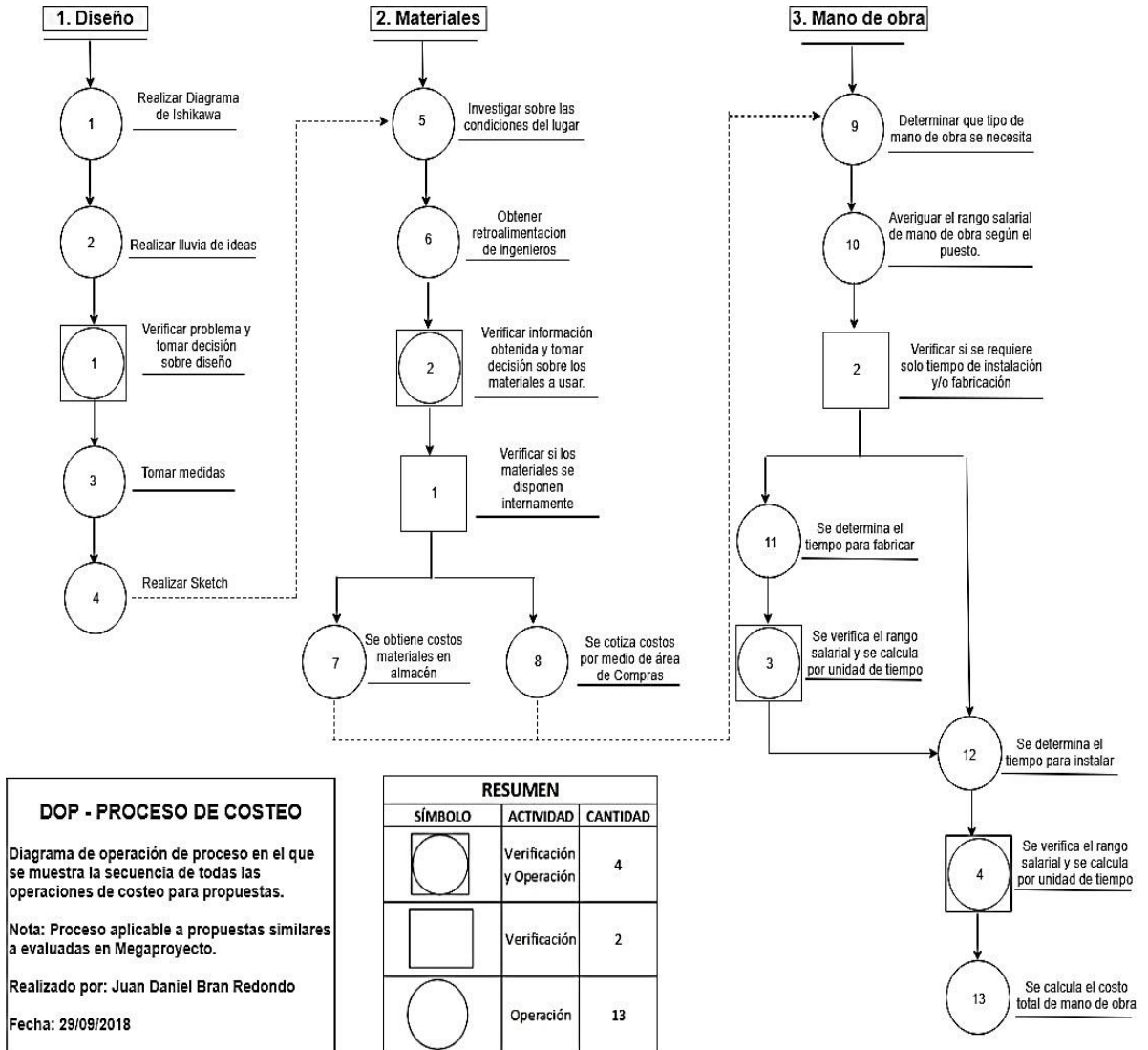
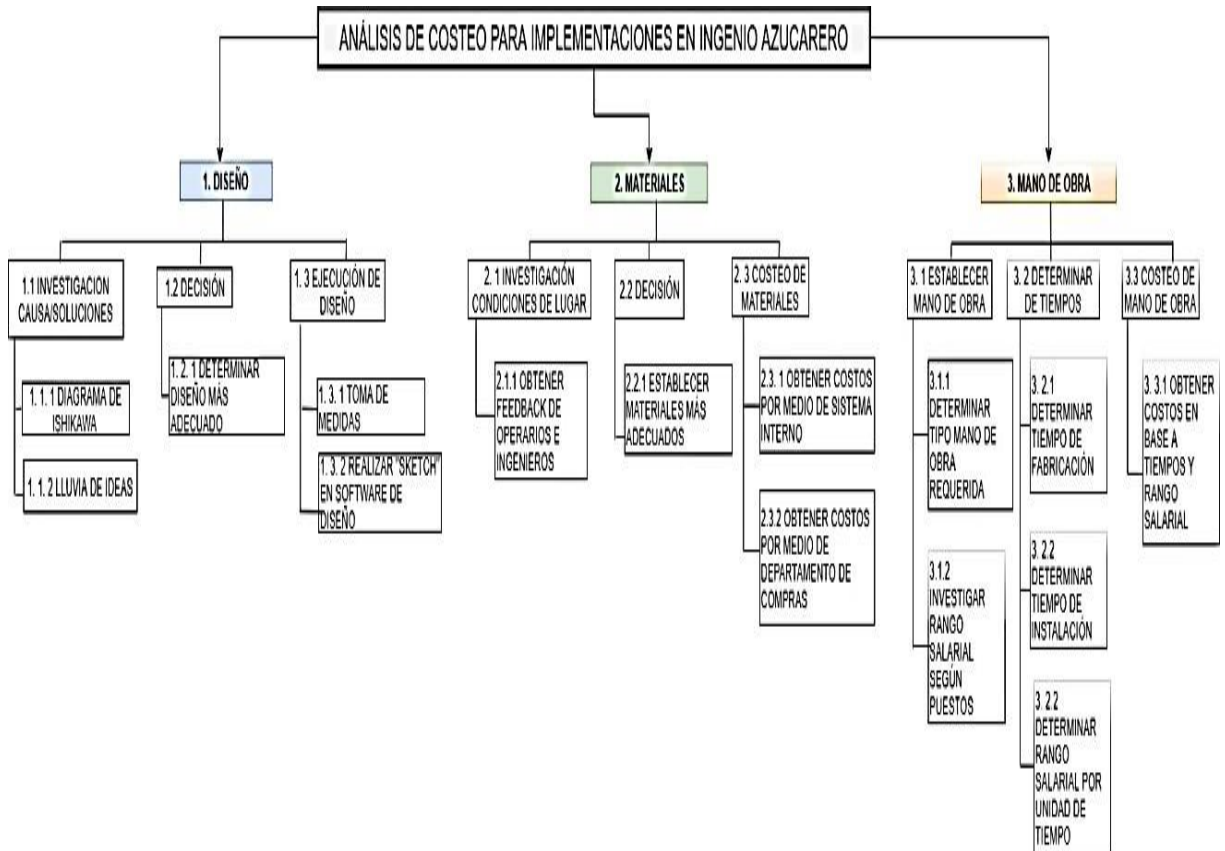


Figura No.68 EDT para el proceso de costeo de implementaciones



R. Estandarización de proceso de costos

Figura No.69 EDT del Megaproyecto de pérdidas de azúcar

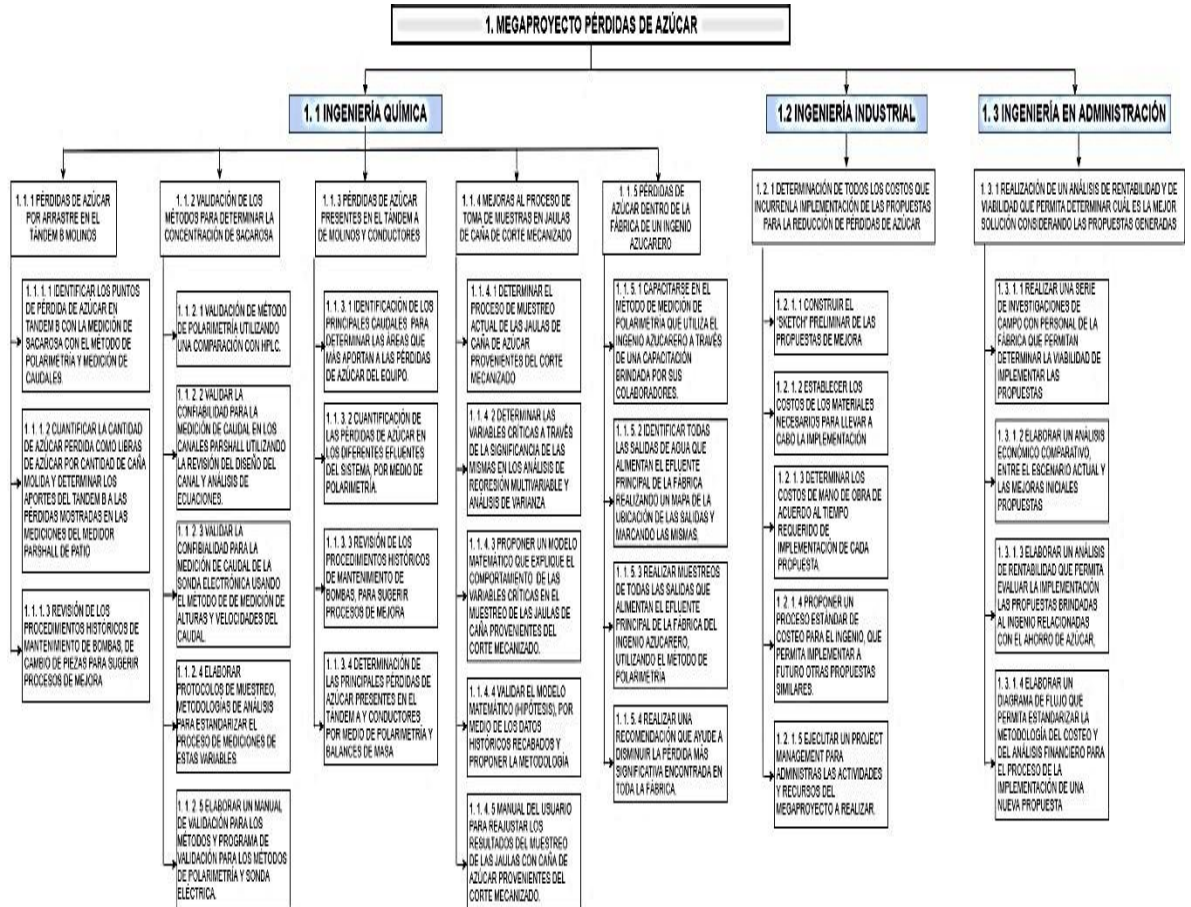
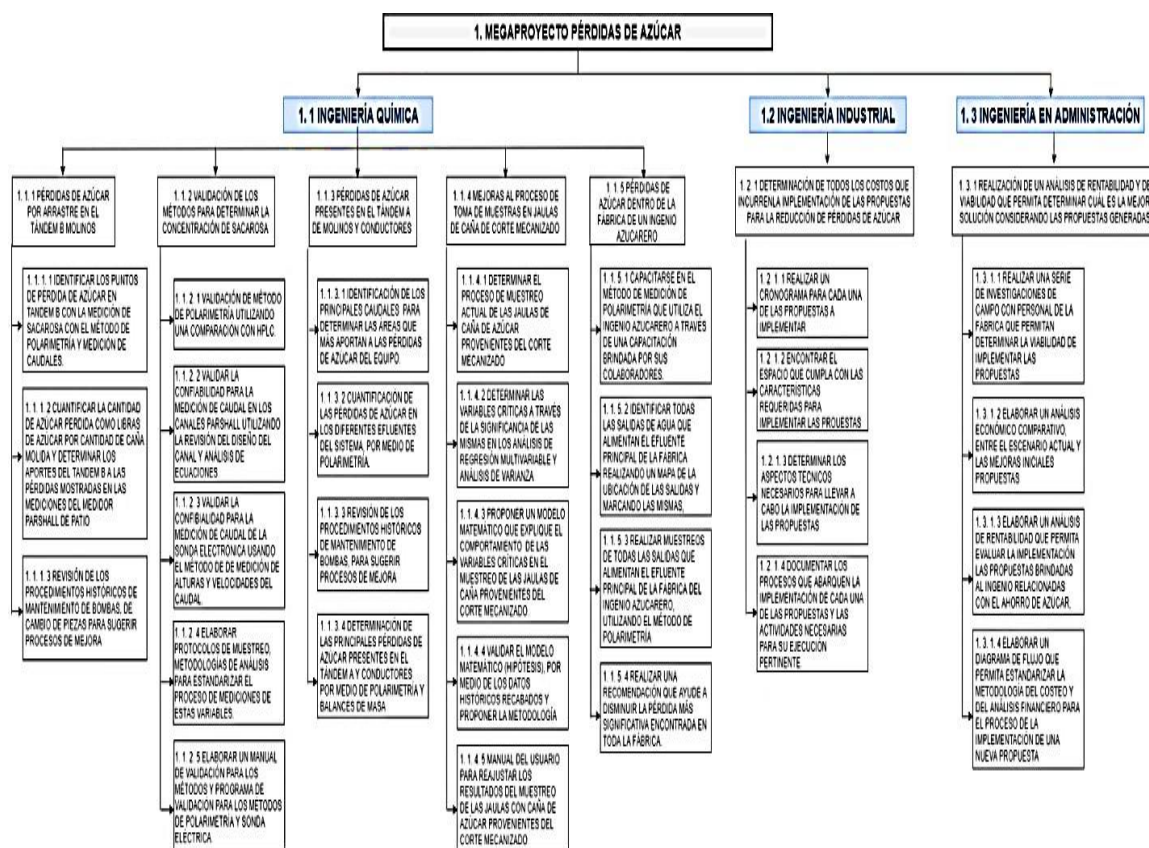


Figura No.70 EDT final del Megaproyecto de pérdidas de azúcar



Cuadro No.60 Matriz de riesgos del proyecto

RIESGO	DESCRIPCIÓN	IMPACTO	RESPUESTA	ACCIÓN
1	Demoras del proyecto por factores externos	El proyecto no cumple con la fecha de finalización.	Prevenir	Realizar planes de acción inmediatos para escenarios b.
2	Recursos faltantes	El proyecto se prolonga	Evitar	Gestionar a detalle todos los recursos necesarios para realización de megaproyecto.
3	Variación de la acta de constitución del proyecto	Cambios de metodologías y retrasos.	Evitar	Asegurar seguir con el plan inicial.
4	Poca apertura del ingenio a brindar información.	Dificultad en ejecución de módulos	Actuar	Solicitar autoridades de universidad revertir situación.
5	Accidentes en el ingenio	Lesiones o fatalidades en miembros de megaproyecto	Mitigar	Tomar todas las precauciones posibles y hacer un buen uso de equipo de seguridad industrial.
6	Accidentes en viajes	Lesiones o fatalidades en miembros de megaproyecto	Mitigar	Tomar todas las precauciones viales posibles a la hora de las visitas al ingenio.
7	Duplicación de información en módulos	Módulos con la misma información y conclusión.	Evitar	Tener una excelente comunicación como equipo de trabajo.
8	Incorrecta forma de mediciones	Obtener mediciones no significativas para tener un buen análisis de resultados	Prevenir/Evitar	Asegurarse de tener la correcta metodología y comprobarla previamente.
9	No aceptación de propuestas	Resistencia del personal del ingenio en no aceptar las propuestas sugeridas.	Actuar	Tener una buena relación con el personal del ingenio.
10	Costeo de propuestas	No tener accesibilidad y autoridad de obtener los costos internamente.	Actuar	Solicitar autoridades de universidad revertir situación.
11	Mal seguimiento de cronograma del proyecto	No tener los datos suficientes durante la zafra.	Evitar	Seguir estrictamente el cronograma y aprovechar 100% el tiempo de zafra.
12	Resultados mediciones	Los resultados no sean significativos	Evitar	Hacer muestreos lo suficientemente grandes para asegurar resultados significativos.

Figura No.71 Matriz de responsabilidades del proyecto

MATRIZ DE RESPONSABILIDADES - MP PÉRDIDAS DE AZÚCAR											
Actividades Megaproyecto	Roles										
	<i>Gamaliel Zambrano - Director de Ing. Química</i>	<i>Cristián Rossi - Encargado del Megaproyecto</i>	<i>Frances Recardi - Coordinador del Proyecto</i>	<i>Asesores correspondientes</i>	<i>Juan Daniel Bran - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Sebastián Vasquez - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Diego Grajeda - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Emilio Soy - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Gabriela Gavez - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Emilio Rivera - Miembro del Megaproyecto</i>	<i>Emilio Velasquez - Miembro del Megaproyecto</i>
Actividades Iniciales											
Solicitud de constitución del Megaproyecto	R/A	R/A									
Megaproyecto aprobado por Departamento de Ingeniería Química.	R/A	R/A									
Identificación de interesados	R/A	R/A	C		C	C	C	C	C	C	C
Actividades de Planeación											
Crear acta de constitución		A	A	C	R	R	R	R	R	R	R
Organizar visita introductoria al Ingenio	R/A	R/A	I		I	I	I	I	I	I	I
Definir horarios de reuniones de equipo de trabajo			A		R	R	R	R	R	R	R
Definir EDT del proyecto			A		R	R	R	R	R	R	R
Cronograma del proyecto			C		R	R	R	R	R	R	R
Entregar Anteproyecto			A		R	R	R	R	R	R	R
Actividades de Ejecución											
Cronograma de visitas al ingenio			I		R	R	R	R	R	R	R
Ejecución de resultados de módulos			I		R	R	R	R	R	R	R
Definir asesores			I	A	R	R	R	R	R	R	R
Reuniones con asesores				A	R	R	R	R	R	R	R
Reporte de status de avances			I	I	R	R	R	R	R	R	R
Entregar Protocolo	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R
Análisis de datos			I	I	R	R	R	R	R	R	R
Elaboración de trabajo escrito			I	I	R	R	R	R	R	R	R
Actividades de Cierre											
Entrega de trabajo final	I	I	A/I	A	R	R	R	R	R	R	R
Entrega de Cartas a Departamento de Ingeniería	I	I	I	A	R	R	R	R	R	R	R
Tema	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R
Cierre de Proyecto	A	A	A	I	R	R	R	R	R	R	R

*Nota: R=Responsable, A=Aprobador, C=Consultado, I=Informado

ACTA DE CONSTITUCIÓN

Título del Proyecto: Determinación y cuantificación de pérdidas de azúcar por arrastre, en procesos industriales de un ingenio azucarero y validación de métodos de laboratorio, para proponer mejoras de acuerdo con análisis de costeo y económico

Patrocinador del Proyecto: Ingenio azucarero

Project Manager: Juan Daniel Bran

Supervisor del Proyecto: Frances Recari

Ciente del Proyecto: Ingenio Azucarero

Fecha preparado: 04 de abril del 2018

Propósitos del proyecto o justificación:

- Dificultad en identificar puntos críticos de pérdida de azúcar en el ingenio azucarero.
- Incertidumbre en la precisión de los métodos de medición de azúcar empleados actualmente en el ingenio.
- Necesidad de implementar propuestas de mejora en puntos críticos de pérdidas de azúcar.
- Proceso de implementación no estandarizado en ingenio dificultando el flujo del proceso.

Descripción del proyecto:

- Determinar y cuantificar perdidas de azúcar en puntos críticos del ingenio.
- Identificar los puntos críticos en donde el ingenio azucarero este teniendo perdidas de azúcar.
- Proponer implementaciones que solucionen el desperdicio de azúcar en los puntos evaluados.
- Hacer un análisis de costeo sobre las implementaciones sugeridas para posteriormente hacer un análisis costo/beneficio.
- Hacer un análisis financiero que determine si es financieramente beneficioso al ingenio implementar las propuestas.

Requerimientos de alto nivel:

- Se debe cumplir con las fechas de entrega establecidas por el Departamento de Ingeniería.
- Todos los trabajos de módulos individuales se deben consolidar para formar solo un trabajo.

Continuación Cuadro No. 61 Constitución del proyecto

Riesgos de alto nivel:

- Resistencia por parte del personal del ingenio para obtener información necesaria para la realización del trabajo de módulo.

Factor	Criterio de éxito	Objetivo del proyecto	Persona aprobadora
Alcance	Presentar las propuestas aprobadas por los asesores.	Presentar al ingenio propuestas de mejora a la reducción de azúcar en los puntos evaluadas por medio de un análisis de costo.	Patrocinador del Proyecto
Tiempo	Presentar cada entrega con las aprobaciones requeridas.	- Entregar el pre protocolo en diciembre del 2017. - Entregar el protocolo a finales de mayo 2018. - Entregar trabajo individual el 19 de octubre	Patrocinador del Proyecto

Hitos	Fecha
Investigación del proceso de azúcar y visitas introductorias al ingenio.	27/11/2017
Aprobación de Pre protocolo	27/11/2017
Aprobación de protocolo	25/05/2018
Hito – Determinación de pérdidas de azúcar	07/07/2018
Hito – Proponer mejoras en los puntos críticos de perdidas	15/08/2018
Hito – Validación de métodos para determinar la concentración.	15/09/2018
Hito – Proponer mejoras en el proceso de toma de muestras en jaulas de caña	15/09/2018
Hito – Obtener el costo de las implementaciones propuestas	15/09/2018
Hito – Análisis costo beneficio	15/09/2018

Entrega de trabajo Individual 19/10/2018
Entrega de trabajo consolidado 29/10/2018

Presupuesto Megaproyecto No se identificaron actividades que incurrirán en algún costo por lo que no aplica.

Involucrados en el Megaproyecto

Interesados	Rol
Ing. Gamaliel Zambrano	Dueño del Megaproyecto
Ing. Cristian Rossi	Supervisor del Megaproyecto
Ing. Frances Recardi	Encargada del Megaproyecto
<ul style="list-style-type: none">• Juan Daniel Bran• Sebastián Vásquez• Emilio Velásquez• Emilio Rivera• Gabriela Gálvez• Diego Grajeda• Emilio Say	Miembros del Megaproyecto
Ing. Marco Tulio	Encargado de Megaproyecto del lado de ingenio
Ing. Orlando Pinzón	Ingenieros a cargo de áreas del ingenio donde se propusieron implementaciones.
Ing. Luis Estrada	
Ing. Cesar	
Ing. Francisco	

Nivel de autoridad de PM

Decisiones de Contratación	No habrá contrataciones de personal en el Ingenio.
Decisiones Técnicas	Las decisiones de cada miembro tendrán que ser aprobadas por sus respectivos asesores.

Aprobación:

Project Manager



Juan Daniel Bran Redondo

Cuadro No.62 Documento de cierre de proyecto

Documento de Cierre – “Determinación y cuantificación de pérdidas de azúcar por arrastre, en procesos industriales de un ingenio azucarero y validación de métodos de laboratorio, para proponer mejoras de acuerdo con análisis de costeo y económico”

Lugar: Ciudad de Guatemala

Fecha: 19/10/2018

Descripción del proyecto: El proyecto consiste en validar los métodos de laboratorio y cuantificar la pérdida de azúcar en los procesos industriales del ingenio de acuerdo un análisis de costeo y financiero.

Detalle de entregables:

- Ingeniería Industrial:
 - Diagrama de distribución de propuestas
 - Costos totales de implementaciones
 - Documentación de manual de proceso de costeo para futuras implementaciones.
 - Trabajo individual
- Ingeniería Química:
 - Resultados de Pérdidas de azúcar
 - Propuestas de implementaciones en puntos críticos
 - Manual de validación para determinar la sacarosa.
 - Propuestas de mejora para la toma de muestras en jaulas de caña de corte mecanizado.
 - Trabajo individual
- Ingeniería en Administración:
 - Análisis costo beneficio.
 - Cuantificación monetaria de pérdidas de azúcar.
 - Trabajo individual

Criterio de aceptación: Se cierra el proyecto **“Determinación y cuantificación de pérdidas de azúcar por arrastre, en procesos industriales de un ingenio azucarero y validación de métodos de laboratorio, para proponer mejoras de acuerdo con análisis de costeo y económico”** considerando que se cumplen el objetivo general el cual fue establecido como **“Proporcionar mejoras al ingenio azucarero por medio de implementaciones en puntos críticos de pérdidas de azúcar detectados en la zafra 2017-2018”** se cierra el proyecto.

Conformidad: ¿Se presenta conformidad para el cierre del proyecto?

Si se presenta conformidad y aceptación

Continuación Cuadro No.62 Documento de cierre de proyecto

Observaciones

- Se considera cerrado el proyecto, cumpliendo con los objetivos establecidos desde el inicio.
- Es importante tomar en cuenta que el proyecto tiene oportunidades de mejoras por lo que no se descarta una segunda fase.

Firma de PM:



Juan Daniel Bran R.

Análisis de rentabilidad y viabilidad de las propuestas a implementar.

Como se puede visualizar en los Cuadros a continuación, se encuentra la comparación entre las pérdidas obtenidas expresadas en kilogramo de azúcar por telada métrica de caña y el monto obtenido expresado tanto en dólar estadounidense como en quetzal respectivamente que servirá posteriormente para determinar la viabilidad de la implementación de las distintas propuestas antes mencionadas.

Cuadro No.63 pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, respectivamente, propuesta “Conductores de caña en Tándem A”

Resumen de perdidas generales

Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Conductor de caña canal C	2.50	\$ 1,150,230.68	GTQ 8,467,983.60

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del conductor de caña Tándem A se pueden visualizar en el Cuadro 28 de los anexos

Cuadro No.64 porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Conductores de caña en Tándem A”

Fecha	Pérdida Conductor de Caña canal C (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
24-Feb	0.87	2.67	32.55%
3-Mar	0.85	2.29	37.02%
10-Mar	0.38	0.56	66.98%
7-Apr	0.40	4.76	8.44%
Totales	2.50	10.28	24.28%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.65 pérdidas expresadas kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Conductores de caña en Tándem B”

Resumen de perdidas generales

	Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Conductores	Conductor de caña	15.89	\$ 5,054,531.37	GTQ 37,211,395.44

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del conductor de caña Tándem B se pueden visualizar en el Cuadro 44 de los anexos

Cuadro No.66 porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Conductores de caña en Tándem B”

Fecha	Pérdida Conductor de Caña (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
2/22/18	0.34	0.84	40.39%
3/3/18	0.08	2.29	3.39%
3/8/18	0.44	0.93	47.63%
3/15/18	0.52	1.61	32.42%
3/26/18	0.36	0.55	64.87%
4/5/18	0.42	2.39	17.73%
4/12/18	0.26	1.89	13.52%
Totales	2.42	10.50	23.02%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.67 pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal propuesta “Cush cush”

Resumen de perdidas generales			
Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Post Cush Cush	0.30	\$ 137,718.40	GTQ 1,013,881.08

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del sedimentador se pueden visualizar en el Cuadro 41 de los anexos

Cuadro No.68 porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Cush cush”

Fecha	Pérdida Cush Cush (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
30-Mar	1.85E-01	0.45	40.77%
12-Apr	1.14E-01	1.89	6.02%
Totales	2.99E-01	2.34	12.76%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.69 pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Bombas Tándem A”

Resumen de perdidas generales				
	Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Bombas	B32	9.08E-04	\$ 805.51	GTQ 5,930.14
	B33	1.28E-03		
	B34	3.05E-03		

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo de las bombas en el Tándem A se pueden visualizar en el Cuadro 34 de los anexos

Cuadro No.70 porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A”

Fecha	Pérdida B32 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
24-Feb	4.40E-04	2.67	0.02%
17-Mar	4.68E-04	1.44	0.03%
Totales	9.08E-04	4.11	0.02%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.71 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A”

Fecha	Pérdida B33 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
24-Feb	5.59E-04	2.67	0.02%
17-Mar	7.24E-04	1.44	0.05%
Totales	1.28E-03	4.11	0.03%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.72 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Bombas Tándem A”

Fecha	Pérdida B34 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
24-Feb	1.62E-03	2.67	0.06%
17-Mar	1.43E-03	1.44	0.10%
Totales	3.05E-03	4.11	0.07%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.73 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, propuesta “Bombas Tándem B”

Resumen de pérdidas generales			
Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Bombas	4.06E-05	\$ 12.92	GTQ 95.14

Fecha	Pérdida en bombas (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
2/22/18	4.06E-05	0.84	0.001603%
Totales	4.06E-05	0.84	0.001603%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio. Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo de las bombas en el Tándem B se pueden visualizar en el Cuadro 50 de los anexos

Cuadro No.74 Pérdidas expresadas en kg/t de caña, dólar estadounidense y quetzal, respectivamente, propuesta “Recirculación”

	Resumen de perdidas generales		Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
	Punto de control	Pérdida total (kg/t)		
Recirculación	Tubería 21	3.70E-04	\$ 25,608.50	GTQ 188,529.46
	Tubería 22	3.20E-02		
	Tubería 23	5.06E-04		

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del área de la refinería se pueden visualizar en el Cuadro 53 de los anexos

Cuadro No.75 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Recirculación”

Fecha	Pérdida tubería 21 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
27-Jan	1.27E-04	2.02	0.01%
3-Feb	1.55E-04	2.26	0.01%
3-Mar	8.77E-05	2.29	0.00%
Totales	3.70E-04	6.57	0.01%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.76 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Recirculación”

Fecha	Pérdida tubería 22 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
27-Jan	1.15E-02	2.02	0.57%
3-Feb	9.20E-03	2.26	0.41%
3-Mar	1.13E-02	2.29	0.49%
Totales	3.20E-02	6.57	0.49%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Cuadro No.77 Porcentaje que representan las pérdidas del grupo de trabajo a las digitadas por el ingenio, propuesta “Recirculación”

Fecha	Pérdida tubería 23 (kg/t)	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)	% al que equivale la pérdida determinada (UVG)
27-Jan	2.31E-04	2.02	0.01%
3-Feb	1.20E-04	2.26	0.01%
3-Mar	1.55E-04	2.29	0.01%
Totales	5.06E-04	6.57	0.01%

Nota: Este porcentaje está calculado respecto al total de azúcar que fue producido en el ingenio.

Seguido, se encuentran los resultados relacionados tema del tercer objetivo específico que consiste en la realización de un análisis financiero para poder determinar así, la viabilidad de la implementación de las distintas propuestas que fueron brindadas al ingenio con base en el costo que incurre la implementación de estas y, la determinación del costo anteriormente mencionado respecto a la pérdida que se obtuvo en cada uno de los puntos estudiados.

Cuadro No.78 Costo de la pérdida generada, propuesta conductores

Resumen de pérdidas generales				
	Punto de control	Pérdida promedio (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Conductores	Conductor de caña canal C	2.50	\$ 1,150,230.68	GTQ 8,467,983.60

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del conductor de caña Tándem A se pueden visualizar en el Cuadro No. 204 de los anexos

Cuadro No.79 Costo de la implementación, propuesta conductores

Descripción	Monto
Mano de obra (Conductores Caña Canal C)	GTQ 2,398.08
Materiales (Conductores Caña Canal C)	GTQ 24,499.82
Costo Total Conductor	GTQ 26,897.90

Cuadro No.80 Costo de la pérdida producida, propuesta bombas.

Resumen de perdidas generales				
	Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Bombas	B32	9.08E-04	\$ 805.51	GTQ 5,930.14
	B33	1.28E-03		
	B34	3.05E-03		

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo de las bombas en el Tándem A se pueden visualizar en el Cuadro 210 de los anexos

Cuadro No.81 Costo de la pérdida producida, propuesta bombas.

Resumen de perdidas generales				
	Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Bombas	Bombas	4.06E-05	\$ 12.92	GTQ 95.14

Cuadro No.82 Costo de la implementación propuesta bombas.

Descripción	Monto
Mano de obra (para las 3 bombas)	GTQ 1,063.02
Materiales (para las 3 bombas)	GTQ 1,174.41
Costo Cambio 3 Estopas	GTQ 2, 237.43

Cuadro No.83 Costo de la pérdida producida, propuesta cush cush.

Resumen de perdidas generales			
Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Post Cush Cush	0.30	\$ 137,718.40	GTQ 1,013,881.08

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del sedimentador se pueden visualizar en el Cuadro 41 de los anexos

Cuadro No.84 Costo de la implementación, propuesta cush cush.

Descripción	Monto
Mano de obra (ventanilla 8 tramos)	GTQ 671.64
Materiales (ventanilla 8 tramos)	GTQ 1,303.31
Costo ventanilla	GTQ 1,974.95

Cuadro No.85 Costo de la pérdida producida, propuesta recirculación

		Resumen de pérdidas generales			
		Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Recirculación		Tubería 21	3.70E-04	\$ 25,608.50	GTQ 188,529.46
		Tubería 22	3.20E-02		
		Tubería 23	5.06E-04		

Nota: Los datos obtenidos en los días que se realizó el muestreo del área de la refinería se pueden visualizar en el Cuadro 230 de los anexos

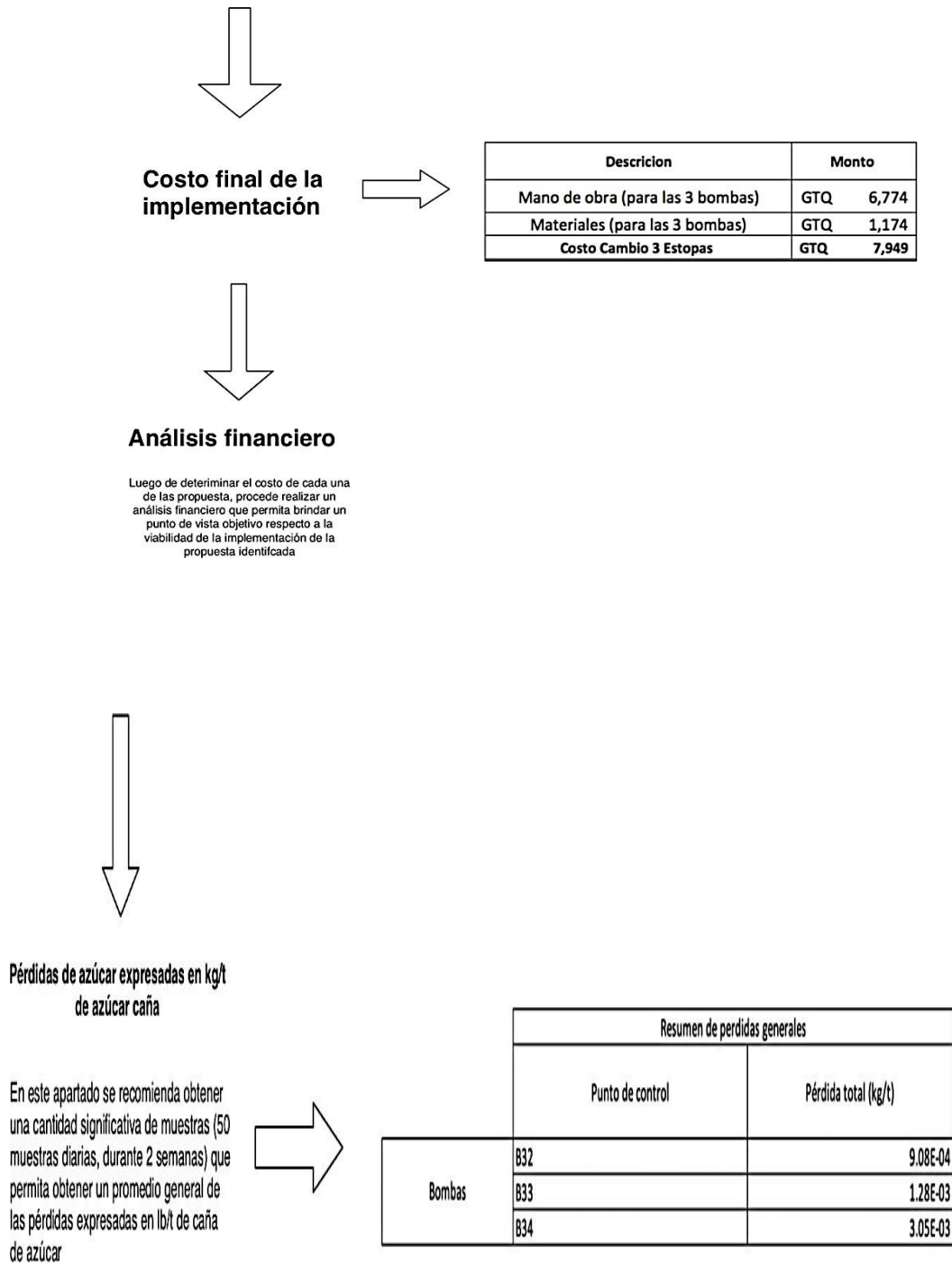
Cuadro No.86 Costo de la implementación, propuesta recirculación

Descripción	Monto
Mano de obra (Implementar las 9 bombas)	GTQ 872.46
Electrodos	GTQ 78.90
Materiales (Hierro Negro)	GTQ 612.48
Costo Bandejas	GTQ 1, 563.84

Cuadro No.87 Costo total a realizar con la implementación de las propuestas generadas junto con la pérdida total de los 4 puntos muestreados en GTQ

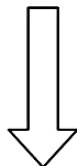
Costo total	GTQ 32, 674.12
Pérdida total de los 4 puntos muestreados	GTQ 9,550,637.97

Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo⁴.



⁴ Para tener una visión general del diagrama de bloques, es posible visualizar Figura No.4 en los anexos

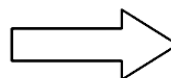
Continuación Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo.



Cálculos para la determinación del costo de la pérdida de azúcar en el punto estudiado

Tras obtener la pérdida expresada en lb/t de caña de azúcar es pertinente determinar:

- Pérdida monetaria expresada en dólares americanos (USD)
- Pérdida expresada en Quetzales
- Porcentaje que representan las pérdidas determinadas por el equipo de trabajo respecto a las que son digitadas por el ingenio



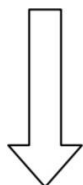
Aspectos a tomar en cuenta:

- El puesto de control
- Pérdida promedio por día de muestro (expresada en kg/t de caña de azúcar).
- Precio del contrato No.11 de azúcar en el mercado.
- Tipo de cambio USD/GTQ
- Toneladas promedio molidas por el ingenio en los días de zafra

Resumen de pérdidas generales				
	Punto de control	Pérdida total (kg/t)	Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Bombas	B32	9.08E-04	\$ 805.51	GTQ 5,930.14
	B33	1.28E-03		
	B34	3.05E-03		

Bomba estudiada	Porcentaje que representa de las pérdidas registradas por el ingenio
B32	0.02%
B33	0.03%
B34	0.07%

Continuación Figura No.72 Diagrama de bloques para futuras implementaciones similares a las propuestas por el equipo de trabajo



Determinación del costo monetario de la pérdida de azúcar determinada

Finalmente, tras la realización de los cálculos pertinentes, se obtiene el costo final que representa la pérdida de azúcar determinada por el equipo de trabajo; esta es comparada con el "Costo final de la implementación" y así, determinar la viabilidad de implementar la propuesta que se está estudiando

En este apartado, es pertinente obtener la inversión total a realizar por parte del ingenio por medio de la suma de todos los costos de implementación y así poder determinar, el retorno de la inversión, el tiempo que tomará recuperar la misma, etc.

Resumen de perdidas generales		Pérdida expresada en USD	Pérdida expresada en GTQ
Punto de control	Pérdida total (kg/t)		
Bombas	B32	\$ 805.51	GTQ 5,930.14
	B33		
	B34		

Descripcion	Monto
Mano de obra (para las 3 bombas)	GTQ 6,774
Materiales (para las 3 bombas)	GTQ 1,174
Costo Cambio 3 Estopas	GTQ 7,949

VI. Análisis de resultados

A. Determinación del proceso de muestreo de las jaulas de caña

El objetivo principal de esta investigación es proponer mejoras al proceso de toma de muestras en jaulas de caña de corte mecanizado a través de la determinación de variables críticas, en el laboratorio de caña de un ingenio azucarero. Para ello, se inició con el reconocimiento de todo el proceso de muestreo en el laboratorio de patio del ingenio y del recorrido que realiza la caña de azúcar, desde que esta es cosechada en las fincas, hasta que se muestrea en el laboratorio.

Para comprender todos los procesos fue necesario realizar una serie de visitas al laboratorio de patio, durante los muestreos de las jaulas de caña de azúcar. Esto permitió observar detalladamente cómo se llevan a cabo cada uno de los procesos y si estos se realizan de forma similar por todo el equipo del laboratorio. Es así como se determinan qué variables son medidas en el laboratorio y cuales pueden influir en los resultados del porcentaje de sacarosa en la caña.

Para los muestreos, primero deben de ser pesadas todas las jaulas en la báscula, con un número de identificación, se conoce el peso de la jaula y el camión, y por una simple diferencia se puede conocer cuanta caña de azúcar está ingresando al proceso. De todos los camiones, el laboratorio logra medir en promedio 192 jaulas diariamente durante toda la zafra. La forma en que se logra reconocer cada jaula es por medio de un número de identificación que es el “Envío de caña”. Este número correlativo, diferente para cada zafra, indica distintas características de la caña en el camión y permite identificarla del resto. Algunas de estas características son la variedad, el peso del envío, finca y pante de donde provino, tipo de corte, hora de cosecha, hora de quema, dependiendo del tipo de corte, hora que ingresó al ingenio, hora que se pesó en la báscula, entre algunas otras. Algunas de estas se pueden observar en el Cuadro 9 en Anexos.

Es importante mencionar que esto se trabaja juntamente con el área agrícola, debido a que se debe llevar un control de que finca provienen los camiones. Para que se pueda realizar los muestreos en el laboratorio, los pilotos de los camiones deben entregar una boleta al laboratorio, donde se indica el “Envío de caña” para que se pueda identificar y controlar correctamente las muestras. Esto asegura que todos los esfuerzos del laboratorio sean adecuados, de la misma forma que esto es importante para los resultados de los análisis factoriales y ecuaciones para corregir los resultados del porcentaje de Pol en la caña, ya que todos esos datos recopilados durante la zafra son la base de los análisis realizados en la investigación.

De todas las visitas realizadas al personal del laboratorio, se diagramó cada uno de los pasos y procesos en que la caña de azúcar es sometida, Figura 35 en resultados, para poder tener una perspectiva más amplia del proceso, como este se lleva a cabo y para facilitar la identificación de las variables que se ven involucradas en el mismo.

B. Determinación de las variables críticas

Dentro de las variables identificadas como importantes para analizar estadísticamente y para determinar que tanto influyen en el resultado final de la cantidad de Pol en la caña, se pueden mencionar: la variedad de la caña de azúcar, el tipo de muestreo de las jaulas con caña, el corte de la caña de azúcar, la temperatura promedio, la humedad promedio, la distancia recorrida por las jaulas de caña, el tiempo que tarda la caña desde la cosecha hasta el muestreo, el desfibrado de la muestra de caña y la desfibradora utilizada.

Las últimas dos variables mencionadas, se decidieron analizar luego de observar cómo se realizaban los análisis en el laboratorio. De esta forma se planteó una mejora en el proceso de desfibrado y mezclado, ya que el sello entre ambos equipos puede generar cierto grado de pérdida de la muestra, si no se ajusta correctamente. Por lo anterior, se sugiere comparar si el procedimiento y la forma de operar los equipos influye en el resultado del porcentaje de Pol en la muestra (Pol%C).

Todas y cada una de las variables identificadas como críticas en el proceso de muestreo de las jaulas de caña, fueron examinadas y analizadas por medio de un análisis factorial para determinar la influencia sobre el resultado de Pol%C en las muestras. Para realizar los análisis estadísticos se empleó el Software Minitab, debido a que este presenta algunas ventajas como la realización de varios análisis en forma simultánea. De la misma forma que su interfaz puede ser utilizada de forma intuitiva, lo que facilita el manejo de datos y reduce el tiempo empleado para lograr obtener los resultados de los análisis, comparado contra otro Software como lo es Microsoft Excel.

El análisis se empezó con el método de desfibrado (con sello y sin sello) de la muestra y con el número de desfibradora utilizada (1 y 2). Al ingresar los factores mencionados al Software Minitab se obtuvo el diagrama de Pareto de la Figura No. 81 en el Anexo, donde gráficamente se observa que ninguno de los dos factores, ni la interacción entre ambas variables (AB), son estadísticamente significativos. Esto se confirma en el Cuadro No. 91 en el Anexo, donde el valor p, con valor de 0.119, es mayor a $\alpha = 0.05$ para el método de desfibrado. De la misma forma que el número de desfibradora y la interacción entre factores, con valores p de 0.218 y 0.83 respectivamente. Esto permite descartar el efecto de ambas variables en el resultado del porcentaje de Pol en la caña. A pesar de que los resultados del análisis no son significativos, si generan una diferencia en el resultado, ya que se pierde muestra de jugo de caña durante el proceso de desfibrado y mezclado, lo cual genera ruido a los resultados del muestreo.

Es importante mencionar que tanto para este análisis factorial, como para los siguientes fue necesario reducir el modelo. Esto consiste en eliminar términos para simplificarlo y aumentar la precisión de las predicciones. Es decir que, se deben limpiar o reducir los términos que no son estadísticamente significativos para el modelo. Para ello se siguió la metodología de Figura No 46 en el Anexo, para todos los análisis en los que fuera necesario.

Se continuó con las variables “variedad de caña de azúcar” y “método de muestreo de las jaulas de caña” (Core Sampler o Alzadora). El resultado del análisis número 2 del Cuadro No. 91 en el Anexo demuestra que los valores p son 0 y 0.001 para la variedad y el método de muestreo. Al ser ambos menores a $\alpha = 0.05$, se confirma que son estadísticamente significativos para el resultado de Pol en la caña. Esto también se puede observar en la Figura No. 78 en el Anexo donde ambas barras sobrepasan la línea de referencia. Es claro que existe una correlación entre el Pol%C y la variedad, ya que en cada tipo de caña varía la composición porcentual de jugo y fibra, por lo que la cantidad de sacarosa a recuperar será diferente. En cuanto al método de muestreo, también presenta una significancia en el resultado del porcentaje de Pol, ya que las muestras son tomadas en puntos distintos de la jaula, lo que indica que hay algún tipo de deshidratación según la ubicación de la caña durante el viaje en las jaulas.

Debido al número de muestras analizadas y el número de niveles existentes en el factor variedad de caña (CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS), fue necesario realizar un diseño factorial completo por el método de Minitab. En el cual se partió de dos réplicas, como mínimo para asegurar una confianza del 95% para los resultados del porcentaje de Pol en la caña. Del resultado del análisis se obtiene que la variedad de caña “CG00-033” no cumple con el requerimiento mínimo de muestras tomadas para cada uno de los métodos, por lo que el resultado de ese nivel no asegura el 95% de confianza y se debe ser repetido para mejorar el resultado.

El siguiente análisis factorial corresponde a los factores variedad de caña y método de muestreo, pero colocando como respuesta el porcentaje de fibra en la caña (F%C). Como se puede observar en el resultado del análisis factorial en la Figura No. 84 en el Anexo, demuestra que el método de muestreo no presenta una respuesta significativa sobre el porcentaje de fibra en la caña, ya que la gráfica no sobrepasa la línea de referencia. En el tercer análisis del Cuadro No. 91 en Anexos, se observa que el valor p es 0.07, siendo mayor a $\alpha = 0.05$, lo que confirma que no es estadísticamente significativo.

Se continuó con el análisis factorial para el tipo de muestreo y la temperatura, para observar la variabilidad sobre el porcentaje de Pol en la caña. Luego de establecer una serie de rangos de temperatura promedio, se obtuvo que dicha variable sí es significativa con un valor p de 0.01, como se observa en el quinto análisis del Cuadro No. 91 en el Anexo. Esto se debe a que la variable del rango de temperaturas influye en la deshidratación de la caña, generando una influencia significativa en el porcentaje de Pol, ya que se obtendrá un resultado mucho más concentrado.

Es importante mencionar que para la temperatura promedio se requirió formar una serie de rangos para facilitar el análisis en el Software Minitab, ya que, al presentar muchos niveles para un factor, se vuelve un análisis más complejo y pesado. Es decir que es muy complicado evaluar el comportamiento de la temperatura décima por décima, a diferencia de cuando se analiza un cambio de temperatura más grande.

Este mismo procedimiento de agrupación por rangos, se realizó para las variables: humedad promedio, distancia entre finca e ingenio y tiempo de viaje de las jaulas de caña.

En resumen, para los siguientes tres análisis factoriales, se empleó como factor el tipo de muestreo (Core Sampler o Alzadora), analizado al mismo tiempo con el rango de humedad promedio, el rango de tiempo entre cosecha y muestreo y el rango de distancia del viaje entre la finca y el ingenio. En los tres análisis se empleó el Pol%C como variable respuesta. Como se observa en el Cuadro No. 91 en el Anexo en los análisis 6, 7 y 8, se puede concluir que las tres variables son estadísticamente significativas para el resultado del Pol%C. Ya que se obtuvo un valor p de 0.014 para el rango de humedad; un valor p de 0.007 para el rango de tiempo y un valor p de 0 para el rango de distancia.

Se realizó un último análisis factorial para la variedad de caña y el tipo de corte (Manual o Mecánico); a pesar de que el alcance de la investigación no contemplaba el tipo de corte dentro del análisis, se considera que esta puede ser un factor importante y como se observa gráficamente en la Figura No. 89 en el Anexo, el tipo de corte si es significativo para el resultado del porcentaje de Pol en la caña, ya que la gráfica sobrepasa la línea de referencia. Se debe mencionar que para llevar a cabo el análisis, fue necesario colocar todos los datos reportados por el ingenio durante los días 18 de febrero y 20 de marzo de 2018, es decir que se analizaron 21 variedades de caña, 10 más que los análisis factoriales anteriores.

En resumen, las variables identificadas como estadísticamente significativas para el Pol%C en la muestra son: la variedad de la caña de azúcar, el método de muestreo, el rango de temperatura promedio, rango de humedad promedio, rango de distancia de viaje y el rango de tiempo entre la cosecha y el muestreo. Estos seis factores se analizaron de forma conjunta en Software Minitab, para determinar cómo influyen en el resultado del porcentaje de Pol en la muestra de caña de azúcar. Estas cinco variables se pueden considerar significativas, debido a que todas ellas influyen en el resultado de la cantidad de azúcar, la cual se ve influenciada por el resultado de los grados Brix, la Pol, la cantidad de fibra y la humedad en las muestras. Por lo que cualquier cambio de estas, puede generar distintos resultados en el porcentaje de Pol en la muestra.

En el primer resultado del análisis factorial, como se observa en la Figura No. 90 en el Anexo, las únicas variables que presentan una influencia sobre el porcentaje de Pol son: variedad de caña, rango de distancia, rango de temperatura y la interacción entre rango de distancia y rango de humedad. Luego de realizar la limpieza y reducción de factores, que no son significativos, se obtiene que la interacción entre rango de distancia y rango de humedad ya no presenta significancia. Esto debido a que se encuentra en límite de la línea de referencia y el resultado tiende a ser menos confiable que el resto. Al final de la corrección y limpieza, las tres variables o factores que generan una influencia sobre el resultado del porcentaje de Pol en la muestra de caña son: Variedad de caña; Rango de temperatura promedio y Rango de distancia del viaje de la jaula de caña.

Una forma de evaluar el resultado anterior es con el resumen de las gráficas de residuo de la Figura No. 91 en Anexos, empezando con el histograma de residuos, en el cual se observa una distribución asimétrica, pero con algunos valores atípicos. Continuando con la gráfica de probabilidad normal, donde se observan que los datos se encuentran distribuidos normalmente; luego la gráfica de Residuos vs. Ajustes donde los residuos si presentan una varianza constante, ya que los puntos se ubican de forma aleatoria entre ambos lados del valor de 0. Por último, la gráfica de Residuos vs. Orden, que permite verificar que los residuos son independientes entre sí ya que no se observa una tendencia, patrón o ciclo.

Se empleó la misma metodología para analizar cómo influyen las variables críticas en los resultados de otras variables respuesta, como en el resultado de los grados Brix, en el Peso de Torta Húmeda (PTH) y en el porcentaje de fibra en la caña (F%C). De aquí se pueden generar los resultados del porcentaje de Pol en la caña, utilizando la Ecuación 17 y 18 para luego poder hacer las comparaciones contra el resultado del porcentaje de Pol en la caña reportado por el ingenio.

Se puede observar en el Cuadro No. 8 y el Cuadro No. 9 en Resultados, que para el análisis de grados Brix las variables críticas son iguales al resultado del análisis directo del Pol%C (variedad, rango de temperatura y rango de distancia). A diferencia del Peso de Torta Húmeda, donde únicamente se tienen dos variables significativas (variedad y rango de temperaturas). Esto se debe a que la variable °Brix si se verá influenciada por la distancia que recorre la muestra, ya que, combinado con la variable temperatura, puede generar algún cambio en la composición porcentual de la misma. En el Cuadro 10 en Resultados, se observa que, al igual que para el PTH, las únicas variables significativas son la variedad y el rango de temperatura.

La variedad se repite como significativa en todos los análisis, ya que claramente hay una influencia en la composición de la caña, según la variedad. Es por ello, que tanto los grados Brix, el Peso de Torta Húmeda, el F%C y el Pol%C van a tener alguna variación. Para el rango de distancia no se puede concluir lo mismo, debido a que la cantidad de fibra en la caña no depende de que tan lejos o cerca se encuentre la muestra del ingenio.

C. Modelo matemático

En el Cuadro 7, Cuadro 8, Cuadro 9 y Cuadro 10 se pueden observar los modelos matemáticos o ecuaciones generados por Minitab en cada uno de los análisis factorial realizados. En ninguno de los análisis se logró obtener una regresión igual o superior al 85%. Para el caso del Pol%C se obtuvo una regresión de 30.04%, para los grados Brix una regresión de 29.21%, para el PTH una regresión de 27.03% y para el F%C una regresión de 16.23%.

Estos ajustes tan bajos se deben a que existen otras variables significativas que no se consideraron. Tales como, el corte Manual de la caña, que claramente es un factor importante para considerar, como se mencionó previamente, pero el alcance de la investigación se enfocó en el corte mecanizado. Otra variable que se debe considerar es el tiempo de quema de la caña de azúcar, ya que esto es una fuente clara de deshidratación de la caña y de reducción del rendimiento para recuperar la sacarosa. En algunos casos se debe a la inversión del azúcar por agentes microbiológicos. Todo esto se puede comportar de diferente manera entre las variedades. De igual forma, se puede mencionar que hay otras variables analizadas, como el método de muestreo, el rango de humedad o el método de desfibrado, que no son estadísticamente significativas para la variable respuesta, pero si aportan ruido al resultado del análisis de regresión. También se puede considerar como otra variable el índice de preparación de la caña, ya que, dependiendo del tipo y velocidad de la desfibradora, se puede reducir de distinta forma el tamaño de la caña durante la preparación. Por lo que, al momento de prensarla, genera distintos resultados en la cantidad de jugo que se puede obtener y la cantidad de bagazo.

Se puede observar en los Cuadros 7, 8, 9 y 10 en Resultados, que algunos niveles en los factores como las variedades CG00-033; CP88-1165 y CG98-10; los rangos de temperatura 2 y 4; y el cuarto rango de distancia, donde se obtienen valores p mayores a 0.05. Esto quiere decir que tales niveles no son significativos, pero se deben de considerar en el análisis ya que están relacionados con el resto de los niveles. Por lo cual, también son fuente de error en el ajuste del método a los datos y se requiere de más resultados para asegurar que el modelo pueda generar resultados más cercanos al valor real. Por último, en estos mismos Cuadros, se puede observar el resultado de la falta de ajuste (LOF) donde todos tienen un valor p menor a 0.05, lo que quiere decir que ninguno de los modelos explica adecuadamente sus resultados.

A pesar de la falta de ajuste presentado por las ecuaciones, en la Figura No. 39 en Resultados se puede observar que, si existe una reducción en el resultado de los grados Brix, lo cual es una mejora al resultado de la estimación del porcentaje de Pol en la caña. A diferencia de la Figura No. 41 donde se puede observar una reducción en los resultados corregidos, pero el mismo oscila bastante y en algunos días los resultados son mayores. Esto se debe a que al ser únicamente dos variables con las que se corrige el resultado (temperatura y variedad), no son representativas para todo un día. Aun así se ha decidido utilizar ambas ecuaciones para corregir los resultados del porcentaje de Pol en la caña.

D. Validación del modelo matemático

Con la ecuación obtenida por el Software Minitab, se puede generar una corrección para el resultado del porcentaje de Pol en la muestra de caña de azúcar. Como se observa en el Cuadro No. 11 en Resultados, se obtiene el rendimiento promedio diario estimado con el método actual del laboratorio. También se puede observar que el rendimiento promedio diario corregido con las ecuaciones de los análisis de Minitab. A ambos resultados se les restó el rendimiento Industrial real del ingenio, de las cuales se obtienen la diferencia entre

Rendimiento corregido y rendimiento real promedio de 23.389 kg/Tm y una diferencia promedio entre el Rendimiento estimado actual y el rendimiento industrial real de 27.841 kg/Tm. Para el primero se tiene una desviación estándar de 5.864 kg/Tm y 7.009 kg/Tm para el segundo respectivamente.

Se puede observar en el Cuadro No 12 en resultados que el método de corrección del rendimiento de la recuperación de azúcar presenta una reducción de los resultados de 15.99%. Esto significa que la ecuación obtenida por Minitab y el método si permiten realizar una corrección y mejor aproximación a los resultados actuales reportados por el laboratorio. Esto a pesar de que el ajuste de los análisis aún no se acerca al 85% por la influencia de otras variables críticas, si puede generarse una reducción en las pérdidas ficticias generadas en el patio de caña por los errores que se generan durante los muestreos de las jaulas de caña.

En el Cuadro No. 13 en resultados, se presentan los resultados para el rendimiento promedio diario analizado por el ingenio, el rendimiento promedio diario corregido de los análisis factoriales y el Rendimiento esperado por el ingenio. A todos se les resta el resultado de las pérdidas de fábrica, ya que este es un valor que el ingenio controla en el bagazo, agua de limpieza, lavados de equipos, cachaza, drenajes, entre otros. De esta resta se obtiene el recobrado de azúcar promedio de las correcciones de Brix y Peso de Torta Húmeda; el Recobrado de azúcar promedio esperado con la corrección del Porcentaje de Fibra en la Caña y el Recobrado de azúcar promedio corregido de forma directa con el Porcentaje de Pol en la Caña.

En los tres métodos corregidos para obtener el recobrado de azúcar, el que utiliza el F%C como respuesta, tiene una regresión de 16.13%, por lo que es el de menor confianza de los tres y es el que en promedio genera la corrección para el recobrado de azúcar más alta. Esto quiere decir que la corrección no es confiable y que siguen continúan teniendo “perdidas de patio” o pérdidas ficticias. El que permite obtener resultados más cercanos al recobrado real es la corrección directa de Pol%C, pero en 9 de los 31 días, genera resultados menores al Recobrado de azúcar real. Este análisis factorial no puede utilizarse para corregir el método, ya que se estaría diciendo que el ingenio recuperó más azúcar de la que se esperaba al inicio del proceso. Es por lo que se decide continuar con los análisis factorial para corregir los grados Brix y el Peso de Torta Húmeda de las muestras, ya que son el resultado más confiable, aunque este resultado también tenga ajuste a los datos muy bajo.

Es importante mencionar que para hacer las correcciones únicamente se tomaron en cuenta las 11 variedades de caña analizadas. Es por lo que se emplearon los días del 18 de febrero al 20 de marzo, ya que son los días donde las variedades de caña no varían, con respecto a las del análisis de la investigación. Esto es una de las principales razones por la cual el resultado de la corrección del recobrado de azúcar presenta una variación significativa, ya que es un promedio de toda la caña utilizada en un día, considerando la caña cosechada de forma manual, mientras el análisis únicamente se basa en el corte mecanizado.

Debido a que no se logró obtener una ecuación que corrigiera los resultados de una forma confiable, se debe mejorar la metodología para obtener resultados más precisos en la zafra 2018-2019. Inicialmente se puede utilizar un Core Sampler oblicuo, el cual permite obtener una muestra más significativa de la distribución de la caña en las jaulas debido a que puede muestrear en la parte superior, media y baja de la jaula. También se pueden mejorar los análisis de regresión obteniendo resultados para todas las variedades de caña. Para ello se necesita incluir el corte manual al estudio, ya que algunas variedades solo son provenientes de la cosecha manual.

También se debe considerar dentro de la metodología, realizar diseños factoriales para determinar el mínimo de muestras que se deben analizar para la variedad, temperatura promedio y rangos de distancias, para que todos los niveles en los factores presenten una confiabilidad del 95% y se mejore la regresión. Los resultados de las ecuaciones para la corrección del porcentaje de Pol en la caña deben de validarse con los datos de la zafra 2018-2019, para asegurar que las ecuaciones funcionan correctamente; para hacer comparaciones entre zafras y para lograr mejorar las correlaciones de dichas ecuaciones. Esto último por medio de la adición de más datos y más variables significativas. De esta forma se puede iniciar a generar una matriz o historial de datos que faciliten la recopilación de la información.

E. Elaboración de un manual de usuario

Como se observa en Figura 92 en Anexos, el programa permite realizar las correcciones de la muestra, ingresando los datos de la variedad de la caña, la temperatura promedio, la distancia promedio y el resultado del análisis polarimétrico (Pol). Al mismo tiempo que calcula los rangos de temperatura y de distancia en los que se encuentra la muestra. Es importante mencionar que esto es una guía que permite obtener una corrección con un 28% de exactitud, por lo que no es una respuesta confiable para el resultado, pero este permite reducir el tiempo para realizar la corrección del método de muestreo y es una forma de iniciar a generar una base de datos para identificar las variables significativas dentro del proceso de toma de muestras.

F. Validación de métodos analíticos y de laboratorio

Se realizó la validación de los métodos analíticos debido a que es importante determinar la confiabilidad de todos estos y proporcionar resultados con mayor exactitud. Estos métodos son utilizados para el control y la caracterización de melazas, vinazas, mieles, jugos de caña y efluentes con trazas de sacarosa, por lo que, sin tener un método confiable para la caracterización de estos datos, es prácticamente imposible realizar un correcto análisis de las características de las distintas materias primas, productos, subproductos y residuos.

Como primer punto se procedió a validar el método de polarimetría utilizando una comparación contra el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para determinar el porcentaje de variación entre ambos métodos y determinar las exactitudes. Luego de obtener los resultados preliminares mostrados

en los Cuadros No. 21 y 22, se procedió a hacer un análisis estadístico de tres datos que presentaban un porcentaje de variación entre el valor obtenido por el método polarimétrico y el obtenido por el método de HPLC, superior a un 10%. Este análisis estadístico consistió en la realización de una prueba Q (ver cálculo No. 18) para descartar los datos atípicos de la serie de datos y obtener una curva de calibración mucho más exacta, la cual cambió de tener un coeficiente de regresión lineal (R^2) de 0.9979 a 0.9991, sin datos afectados por errores aleatorios.

Los datos corregidos se presentan en el Cuadro No.14 y estos se encuentran graficados en Figura No. 45. En el Cuadro No.14 se puede observar que el promedio del porcentaje de variación entre los datos obtenidos por el método polarimétrico (ING.-MM001) y el método cromatográfico (ING.-MM002) fue 3.34%, con una desviación estándar media 2.17%. Esto indica que el cambio entre los resultados de ambos métodos varía muy poco (en promedio 52 ppm de sacarosa), en un rango de concentración de pérdida de sacarosa de 300 ppm a 3500 ppm. Se pudo determinar también, según el comportamiento de los datos que mientras el resultado de concentración fuera menor (más cercano a 300 ppm) se obtenía un mayor porcentaje de variación con respecto a los valores proporcionados por método polarimétrico y el cromatográfico. La gráfica mostrada en Figura No.14 corresponde a la curva de calibración para el polarímetro AUTOPOL 880 con respecto a los valores obtenidos con el sistema de cromatografía líquida. La curva de calibración mostró una ecuación $y = 0.955x + 29.229$, utilizada para la corrección de datos obtenidos por el polarímetro en el rango de 3500 ppm a 300 ppm y, además, un coeficiente de regresión lineal (R^2) de 0.9991, confirmando el comportamiento lineal y directamente proporcional entre los datos obtenidos por el polarímetro y el HPLC.

El estudio fue enfocado en la utilización de las metodologías ING.-MM001 y ING.-MM002 para la medición de caudales, y concentración de efluentes y otras salidas de fluidos, que eran potenciales fuentes de pérdidas de azúcar. Esta es la razón por la que se realizó el estudio con el rango real de concentración (3500 ppm a 300 ppm de sacarosa), ya que en promedio la mayoría de efluentes y corrientes muestreadas presentaban estas concentraciones según datos históricos del ingenio, descritos en los antecedentes de este trabajo.

Para validar la confiabilidad de las mediciones de caudal en canales de Parshall se utilizó una revisión del diseño del canal y el análisis de las ecuaciones que este utiliza, debido a que teóricamente los canales no pueden ser validados con otros métodos, ya que si cumplen con el diseño establecido proporcionarán un resultado correcto del caudal. Para cumplir el objetivo se procedió a evaluar las dimensiones reales del canal de Parshall contra las medidas de diseño del mismo, siguiendo el manual de validación ING.-MV002 y utilizando la hoja de cálculo para validación de diseño de canales de Parshall ING.-MVE002.

Se evaluó el canal de patio y el canal de fábrica. Para el canal de Parshall de patio se determinó que las dimensiones reales del mismo en comparación con las mediciones de diseño no superaban una variación del 7% (rango de variación de 1.52% hasta 6.56%), lo cual se detalla en el Cuadro No.17. La dimensión del ancho de la garganta del canal en este caso es la más importante, ya que define cual será la ecuación por

utilizar para calcular el gasto de agua que pasa por el canal de Parshall. En el caso del Parshall de patio, se determinó que el ancho de garganta era de 0.90 ± 0.01 m y el valor de diseño de 0.9144 m. Esto, al comparar con el rango de variación permitido por el diseño del canal de Parshall (2%) que se evidencia en el Cuadro No.3, indica que la ecuación correcta para calcular el gasto o caudal que fluye por el canal de Parshall es $Q = 2.184 (\text{Ha})^{1.566}$

Por otro lado, para el canal de Parshall de fábrica se determinó que las dimensiones reales del canal en comparación con las mediciones de diseño no superaban una variación del 8% (rango de variación de 1.61% hasta 7.57%), lo cual se evidencia en el Cuadro No.20, a excepción de las dimensiones de profundidad y longitud de garganta, ya que estas no afectan al cálculo de la ecuación de gasto del canal de Parshall. En el caso del Parshall de fábrica, se determinó que el ancho de garganta era de 0.92 ± 0.01 m y el valor de diseño de 0.9144 m. Esto, al comparar con el rango de variación permitido por el diseño del canal de Parshall (2%) que se evidencia en el Cuadro No.19, indica que la ecuación correcta para calcular el gasto o caudal que fluye por el canal de Parshall es $Q = 2.184 (\text{Ha})^{1.566}$

Adicional a la revisión de las dimensiones del canal de Parshall, se realizó un análisis del porcentaje de sumergencia dado entre la cresta (parte superior de la corriente, previo a pasar por la garganta, revisar Figura No.13). De acuerdo con la teoría, el porcentaje de sumergencia refleja si el canal de Parshall está sufriendo un “ahogamiento” en donde la corriente es tan fuerte y, por ende, tiene una altura significativa, la cual hace que la corriente no sufra el efecto deseado por el diseño del canal de Parshall, haciendo que las mediciones no sean exactas. Para que un canal de Parshall sufra ahogamiento, el porcentaje de sumergencia debe ser mayor a 70%.

En el Parshall de patio se determinó que el porcentaje promedio de sumergencia se encuentra en un 51.58 ± 7.20 %, teniendo como valor máximo de sumergencia 66.67 %. A este último resultado se le realizó un análisis de prueba Q, para determinar si el valor podía ser catalogado como dato atípico (Cálculo No. 19), sin embargo, se determinó en la prueba que el valor de sumergencia no podía ser rechazado, por lo que sigue siendo parte de la serie de datos analizados, con sus resultados estadísticos mostrados en el Cuadro No.17.

En el Parshall de fábrica se determinó que el porcentaje promedio de sumergencia se encuentra en un 57.43 ± 8.74 %, teniendo como valor máximo de sumergencia 76.32%, y existieron otros dos datos que superaron el umbral máximo de la sumergencia para la confiabilidad del canal de Parshall (los cuales se observan en amarillo en Figura No.48). A estos últimos resultados se les realizó un análisis de prueba Q, para determinar si el valor podía ser catalogado como dato atípico (Cálculo No. 19), el cual resultó indicando que si deberían rechazarse y no fueron parte de la serie de datos analizados.

La sumergencia tiene una alta variación en ambos canales de Parshall, como se puede observar en los valores de las Figuras 46 y 47, tanto en el canal de patio como en el de fábrica. Sin embargo, en el canal de fábrica, esta varía de mayor forma debido a que los efluentes que pasan por este contemplan el lavado de evaporadores, tachos, bombas, otros equipos y maquinaria de fábrica, a diferencia del Parshall de patio, donde

la mayoría de los efluentes provienen del lavado de caña en las mesas de preparación y del agua de imbibición, utilizada en los molinos para la extracción del jugo de caña. Esta alta variación en los efluentes obligó a que se realizara un estudio de la distribución en 10 días de zafra para la determinación de la confiabilidad de los canales de Parshall, como aforadores para la medición de flujos continuos o puntuales.

En el análisis de variación de pérdidas de azúcar en el período entre los días 121 al 130 de la zafra 2017–2018 (obsérvese las Figuras 47 para el canal de Parshall de patio y 49 para el de fábrica) se pudo evidenciar la alta variación de los caudales y las concentraciones de azúcar durante varios horarios del día, al momento de tomar las mediciones de pérdidas de azúcar en el canal. Por esto mismo se pudo determinar que los canales de Parshall son aforadores que se recomiendan únicamente para tomar medidas puntuales y no utilizar estas medidas puntuales para reportar un promedio de pérdidas como muestra la línea roja en las Figuras 47 y 49, en donde un promedio no es la mejor representación de las pérdidas totales en un día de zafra del ingenio. Se podría aumentar la confiabilidad del procedimiento de muestreo y la presentación de los resultados, tomando mediciones más frecuentes (cada 30 minutos, por ejemplo) para disminuir el error de medición.

El tercer método validado fue el correspondiente a la medición del caudal de la sonda electrónica. Esta sonda electrónica se encuentra instalada en el ingreso de agua proveniente del río Achíguate, y se realizó la validación de los resultados proporcionados usando una comparación con el método de medición de alturas y velocidades del caudal. Para esto se utilizó el método de análisis ING.-MM004, el manual de validación ING.-MV003 y la hoja de cálculo de validación ING.-MVE003.

Se inició con la validación tomando muestras por el método ING.-MM004, para determinar el caudal que ingresaba a la fábrica del ingenio y al mismo tiempo comparar con las mediciones proporcionadas con el equipo electrónico situado al ingreso del canal. Como se puede observar en el Cuadro No.25, la diferencia entre el caudal calculado por la sonda electrónica y el método ING.-MM004 fue de $124.21 \pm 13.78\%$, lo cual era un porcentaje de diferencia muy alto. Debido a esto se procedió a revisar el canal de entrada y los puntos de medición de la sonda electrónica, confirmando que lo que estaba alterando la medición era una capa de lodo y tierra que se había sedimentado en el punto en donde la sonda electrónica contaba con el sensor que determinaba la altura del agua. Esta capa afecta tanto la medición que se tuvo que realizar una limpieza del canal para poder tomar nuevamente las mediciones basadas en el mismo método para comparar si la limpieza había sido eficaz y había apoyado reducción del error de medición por parte de la sonda electrónica.

Posterior a la limpieza del canal de entrada, se realizó el mismo procedimiento de muestreo y análisis para determinar los resultados que se presentan en el Cuadro No. 22. En esta ocasión, el promedio del porcentaje de variación entre el caudal calculado por la sonda electrónica y el método ING.-MM004 fue de $1.89 \pm 1.59\%$, lo cual es un cambio significativo entre el resultado que se había proporcionado previo a la limpieza del canal de entrada. La sonda electrónica es un método altamente confiable y permite obtener resultados y mediciones continuos del comportamiento del caudal en la entrada de agua principal para el ingenio. Sin embargo, esta sonda tiene cribas, las cuales se encargan de que el agua que entre a la fábrica no

tenga sólidos de gran tamaño, lodos, arenas, entre otros, por lo que afectan directamente a la medición de la sonda, la cual está instalada antes de estas cribas. En esta ubicación se sedimentó el lodo y tierra, afectando la medición. Para esto se realizó la propuesta de hacer una limpieza del canal semanal, a modo de recomendación para evitar que esto volviera suceder afectando a las mediciones de velocidad de la sonda electrónica.

Durante la elaboración del proyecto, se evidenció la falta de estandarización en los procedimientos de muestreo, metodologías de análisis y ensayos del ingenio para realizar las distintas determinaciones de pérdidas de azúcar. En el Cuadro No.23 se detallan las cuatro metodologías de ensayo que se realizaron para estandarizar la forma en la que se determinaba:

- Las trazas de azúcar por el método de polarimetría
- Las trazas de azúcar por el método de cromatografía líquida de alta resolución
- La determinación de caudal utilizando aforadores de Parshall
- La determinación de caudal utilizando el método de alturas y velocidades

Estas metodologías de ensayo pueden ser empleadas en cualquier ingenio azucarero de la región que utilice los mismos equipos para la determinación de pérdidas de azúcar. Adicional a esto se elaboró el procedimiento de muestreo que se detalla en el Cuadro No.24, en donde se explica detalladamente como se debe hacer el muestreo correcto para determinar pérdidas de azúcar, utilizando como apoyo las metodologías de análisis descritas en el Cuadro No.23.

Por último, se elaboraron manuales y hojas de cálculo de validación para que en cualquier momento el ingenio pudiera volver a hacer una revisión de los equipos, métodos, canales, entre otros y determinar la confiabilidad que sus mediciones y por ende resultados están teniendo. Estos manuales y hojas de cálculo se encuentran en los anexos, y su breve descripción está en los Cuadros 25 y 26 respectivamente. Los manuales y las hojas de cálculo elaborados fueron para:

- Manual y hoja de cálculo de validación del polarímetro con respecto al HPLC
- Manual y hoja de cálculo de validación del canal de Parshall
- Manual y hoja de cálculo de validación de la sonda electrónica del canal de entrada.

Estos manuales detallan el proceso de validación, apoyados en las hojas de cálculo para que en cualquier momento se puedan realizar las validaciones. Estos son aplicables únicamente al ingenio azucarero en estudio, ya que son procesos propios del ingenio.

G. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica.

El objetivo principal del presente trabajo era identificar los puntos críticos de pérdidas indeterminadas de sacarosa en los efluentes de fábrica de un ingenio azucarero, ubicando cada salida de agua que alimente el efluente principal del ingenio y midiendo la concentración y caudal de cada una de estas salidas, para proponer una solución que disminuya una de las pérdidas encontradas. Para poder llegar a cumplir el objetivo

general del proyecto era necesario ir cumpliendo los objetivos específicos trazados con anterioridad. Cumplir con cada uno de esos objetivos específicos aseguraría el cometido general del presente proyecto. Se discutirá cada uno de esos objetivos específicos y los resultados que se obtuvieron para cada uno de ellos.

El primer objetivo específico por cumplir era identificar todas las salidas de agua que alimentan el efluente principal de la fábrica del ingenio azucarero, realizando un esquema con vista de planta con la ubicación de todas las tuberías que alimentan el efluente, para conocer la distribución de estas a lo largo de la fábrica del ingenio azucarero. A lo largo de dos visitas se logró identificar las tuberías que alimentaban el efluente principal. En total se identificaron 49 tuberías que alimentaban directamente el efluente principal de la fábrica, dicho listado de tuberías se encuentra en resultados, siendo el Cuadro No 27. Es importante mencionar que todos los efluentes de fábrica se juntan al final en el parshall de fábrica. Una vez identificadas cada una de las tuberías y marcadas con un número único, se procedió a realizar el esquema de la distribución de tuberías a lo largo de la fábrica. El esquema se realizó simulando una vista de planta e identificando las medidas de la fábrica completa. Se hizo en vista de planta debido a que todas las tuberías identificadas se encuentran al mismo nivel, estando situadas en el primer nivel del ingenio, y desembocando todas a la misma altura en las canaletas de conducción de todos estos flujos en conjunto. Dicho esquema se encuentra en resultados, Figura No.49. Este esquema fue crucial y muy útil para que cualquier integrante del megaproyecto pudiera buscar las tuberías y poder muestrear los efluentes en caso fuera necesario. De igual forma fue compartido con los ingenieros del ingenio para que tuvieran conocimiento de la distribución de todas las tuberías a lo largo del primer nivel de la fábrica que se habían identificado, a las cuales posteriormente se iba a analizar sus composiciones de caudal y concentración.

Una vez teniendo el esquema claro y conociendo la ubicación de las tuberías, se procedió con el segundo objetivo específico, este era realizar muestreos de todas las salidas que alimentan el efluente principal de la fábrica del ingenio azucarero, midiendo concentraciones y caudales en cada una de estas, para identificar los puntos de pérdida de sacarosa dentro de la fábrica. Debido a que se buscaba identificar los puntos de pérdida de sacarosa, se debía contar con un método aprobado por el ingenio azucarero para que los resultados de concentración de sacarosa obtenidos fueran válidos. El ingenio en estudio ya contaba con uno, utilizando una variación del método de muestreo de sacarosa por polarimetría de cengicaña. Sin embargo, este no estaba validado, por lo tanto, previo a confiar en los datos obtenidos por el presente método se realizó una validación de este.

Para validar el método, Diego Grajeda, miembro del mismo megaproyecto realizó comparaciones entre dos métodos diferentes analizando muestras iguales. En anexos, en Figura No.98, se puede ver el resultado de comparar las concentraciones obtenidas para una serie de muestras, analizadas por el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y por el método de polarimetría. La correlación entre ambos métodos validaba que los resultados a obtener por el método de polarimetría fueran confiables. Sin embargo, los resultados a obtener por el método de polarimetría debían ser sometidos a una corrección, utilizando el

cálculo No. 3, que se encuentra en anexos, en el área de cálculos. Al momento de realizar la ligera corrección los datos obtenidos eran confiables y se podía proceder a realizar los análisis de pérdidas.

Una vez validado el método a utilizar se procedió a realizar muestreos de todas las salidas que alimentan el efluente principal de la fábrica del ingenio azucarero, para identificar las concentraciones y caudales respectivos de cada uno. Los muestreos de las 49 tuberías se llevaron a cabo a lo largo de un mismo día de zafra para que la molienda total reportada del día no fuera un factor de variación entre los resultados de pérdidas que se esperaban encontrar en las tuberías. En total se muestrearon 3 veces las 49 tuberías, a lo largo de 3 días diferentes de zafra. Específicamente, las muestras se tomaron a lo largo de los días 74, 81 y 95 de zafra. Debido a lo extensa de la fábrica y lo tardado del método estas muestras se sacaron en conjunto con el equipo de trabajo. El análisis de todas las muestras y la toma de todos los caudales se resume en el Cuadro No 34, que se encuentra en el área de resultados. Este Cuadro resume la concentración y el caudal promedio hallado en cada tubería que si presentaba un caudal. Se decidió reportar solamente aquellas tuberías en las cuales, si se encontró algún flujo, ya que, en muchas tuberías a lo largo de las diferentes visitas, no se encontró flujo alguno. En conclusión, de las 49 tuberías solamente 26 tuberías presentaron un flujo activo.

Ahora bien, como se puede ver en el Cuadro No 34, solamente 4 tuberías de las 26 que contenían flujo presentaron a lo largo de los análisis realizados una concentración positiva de sacarosa. Estas fueron las tuberías 21, 22, 23 y 33. Solamente una tubería no fue posible muestrear su concentración de sacarosa y flujo, está fue la tubería número 44. La tubería 44 conduce la salida del vapor utilizado en las calandrias del pretratamiento A y B, por seguridad esta tubería se encuentra parcialmente sumergida, para que el vapor de salida no sea un riesgo de quemaduras para los operarios que trabajan cercanos al área. Por otro lado, La tubería número 21 fue identificada como el drenaje de salida de los filtros de licor tratado y la segunda filtración a la cual son sometidos los mismos licores. Esta tubería o drenaje, contenía concentración de sacarosa ya que es la salida de todos los lavados a los que son sometidos los equipos de filtración. En el Cuadro No.35 se puede observar la cantidad de kilogramos de azúcar perdidos para un día específico. El promedio de pérdida de azúcar al día encontrado en esta tubería fue de 2.17 kg con una incertidumbre de 0.14 kg. Como se mencionó anteriormente, esto se debe a los procesos de lavado de los equipos de filtrado, por el método utilizado es una merma que no es tan fácil de reducir, a menos que se cambie el método completo de lavado.

La siguiente tubería en la cual se encontró una presencia considerable de sacarosa es la tubería número 22, esta corresponde al drenaje de enjuague de los tachos de refinería. A lo largo de las tres fechas en las cuales se muestreó dicha tubería, el promedio de pérdidas de azúcar al día encontrado fue de 188.09kg con una incertidumbre de 6.92kg. Cada vez que se vacía un tacho, el proceso del ingenio azucarero es realizar un lavado o enjuague para dejarlo listo para la siguiente producción de azúcar. Se utiliza agua limpia para enjuagar cada tacho, luego toda el agua es desechada por un drenaje común, el cual sale al primer nivel de la fábrica. Reutilizar el agua que sale de esta tubería no es recomendable, ya que debería ser tratada antes de

poder usarla, removiendo contaminantes y la misma sacarosa encontrada. Además, el desagüe de los tachos es necesario, ya que el equipo se debe de encontrar limpio para la siguiente carga.

Siguiendo con el análisis de tuberías con concentración positiva de sacarosa se encuentra la tubería número 23, dicha tubería corresponde a la salida del drenaje del segundo nivel de la refinería, ubicación de las bombas que llevan el licor rubio hacia el tanque de tratamiento. Esta fue la tercera tubería que, a lo largo de las 3 muestras obtenidas, dio positivo en concentración de sacarosa. El promedio encontrado de pérdidas de sacarosa al día fue de 2.98kg con una incertidumbre de 0.11kg . La pérdida de azúcar encontrada en esta tubería se debía a que varias de las bombas de desplazamiento positivo de licor rubio contaban con desperfectos, teniendo fugas bastante fuertes. Todo el licor que caía al suelo luego era lavado, para mantener limpia el área de trabajo. La concentración alta de azúcar en el drenaje de salida fue la alarma que ayudó a identificar que era necesario ajustar las bombas del área para evitar estas pérdidas innecesarias. Esta fue el área elegida sobre la cual se iba a proponer una solución y ayudar a los ingenieros de fábrica a disminuir las pérdidas, debido a que se podía accionar sin necesidad de cambiar el método de trabajo por completo, la solución a este problema será discutido más adelante.

La cuarta tubería en la cual se encontró concentración de sacarosa fue la número 33. Esta tubería corresponde al rebalse del tanque de condensados de agua, utilizada para enfriamiento en los cristalizadores de fábrica. Puntualmente en esta tubería se encontró concentración de azúcar solamente un día, esta fue hallada el 27 de enero, la concentración encontrada fue de 22074.00 ± 0.01 °Z. Esta pérdida se tuvo este día puntualmente en el agua de enfriamiento de los cristalizadores debido a una falla en el equipo de cristalización del segundo nivel, debido a una fuga en una tubería parte del flujo de cristalización contaminó el agua de enfriamiento. Los ingenieros identificaron el problema rápido y fue solucionado a lo largo del día, ya que no pueden permitirse perder sacarosa y disminuir sus indicadores de producción. Es importante mencionar que al muestrear el efluente de drenaje de los evaporadores no se encontró trazas de sacarosa. Esto se debe a que los lavados de estos equipos los estaba realizando a horas distintas a las cuales se obtuvieron las muestras.

A pesar de haber muestreado las 49 tuberías 3 veces aún no se había terminado de identificar las pérdidas indeterminadas de la fábrica del ingenio. Por esto se decidió recorrer la fábrica entera a lo largo de dos visitas más. La búsqueda de más pérdidas indeterminadas fue bastante productiva. En anexos, en el área de Figuras se pueden encontrar 4 imágenes representativas, las cuales demuestran los hallazgos que se hicieron a lo largo de la fábrica de producción de azúcar del ingenio. Muchas de las bombas de jugo tenían ligeras fugas, debido a que las estopas estaban dañadas o no centradas. Otras tenían fugas debido a que los empaques de estas daban lugar a fugas. El 03 de marzo se tomaron muestras en triplicado de las fugas de estas bombas, para identificar las concentraciones de las pérdidas que se estaban generando, estos resultados se encuentran en el área de anexos en el Cuadro Número 116. Para resolver dichas fugas, se notificaba luego de tomar las muestras al área de mantenimiento, quienes se encargaban de ajustar las bombas para reducir las fugas, sin embargo, tenían que estar ajustándolas a lo largo del día, ya que las fugas aparecían de nuevo. Un ejemplo de la magnitud de estas pérdidas se puede ver en el área de Figuras, en anexos, Figura No. 99

específicamente. Se puede ver claramente como las canaletas se van saturando de licor, al momento de que los operarios limpian el área estos licores se juntan con los efluentes de toda la fábrica, aumentando la concentración de sacarosa, siendo una fuente de pérdida considerable.

Otra de las pérdidas indeterminadas que se identificó en las visitas a fábrica fueron los derrames de magma en las bombas que las transportan. En el área de Figuras, en anexos, Figura No 100 permite ver como el magma se desperdicia al caer al suelo de la fábrica. Posteriormente este magma es lavado, para ser conducido en las canaletas o efluentes de la fábrica. Figura No 101 permite ver cómo se va lavando el magma con agua, para irlo introduciendo poco a poco en las canaletas de salida. Con el objetivo de demostrar cómo cambia la concentración de sacarosa en el agua antes y después de entrar en contacto con el magma, se midió el cambio de concentración del efluente al cual se estaba lavando el magma. Esto fue entre la tubería 10 y 11, los resultados se pueden encontrar en el Cuadro No.116, en el área de Datos originales, en anexos. En promedio la concentración de sacarosa cambiaba en 0.4°Z, solamente al entrar en contacto con un poco de magma. Por lo tanto, se puede concluir que estos problemas en bombas de magma, son otro de los factores que aumentan la pérdida de sacarosa y golpean directamente los índices de productividad del ingenio.

Otra de las pérdidas indeterminadas que se identificó fueron los derrames de azúcar refino que se dan en las transportadoras de refinería a empaque. En Figura No.102, en anexos, se puede observar claramente las pilas de azúcar refino en el suelo, debajo de las transportadoras de azúcar hacía el área de empaque. Toda esta azúcar se va diluyendo a lo largo del día con agua y se hace llegar al efluente principal de fábrica a través de una reja situada en la entrada de la refinería. El flujo no es constante, depende con qué frecuencia los operadores realicen los lavados. Para un análisis posterior sería adecuado pesar la cantidad de azúcar que se pierde en esta área de la fábrica para cuantificar el porcentaje de pérdida y trabajar algo en conjunto con el ingenio para reducir estas pérdidas

Una vez identificadas todas las pérdidas en las tuberías de alimentación del efluente principal, y realizada una búsqueda adicional se procedió a cumplir el último objetivo, proponer una solución que ayude a disminuir la pérdida más significativa encontrada en toda la fábrica, basada en la investigación del funcionamiento de los procesos y equipos que componen el punto de pérdida encontrado para obtener un índice de productividad más alto. Los tres puntos importantes de pérdidas identificados todos eran las tuberías de salida de la refinería. Sin embargo, dos de estas tres pérdidas en tuberías se debían a lavados en los equipos utilizados para el proceso. Los lavados que se mencionan son los de tachos y el equipo de filtración en refinería, reducir las pérdidas en estos puntos no era algo viable a corto plazo, ya que los lavados ser deben de hacer por el proceso que tiene autorizado el ingenio. Por lo tanto, quedaba enfocarse en los problemas en bombas de la refinería.

Las bombas del segundo nivel de refinería, específicamente las bombas de licor rubio hacían los tanques de tratamiento, contaban con una gran cantidad de fugas. Todo el licor se esparcía en charcos en el piso del segundo nivel, al momento de que se acumulaba bastante licor regado en el piso los operarios procedían a lavar el piso con mangueras. Todo el flujo de agua se mezclaba en el drenaje del segundo nivel, el cual era conducido por una tubería a la salida de la refinería al efluente de la fábrica. En Figura No. 103,

en anexos, se pueden observar las tuberías 21, 22, 23 y 24, como se puede todas alimentan el efluente de la fábrica. Al momento de reunirnos con los ingenieros encargados del área, nos indicaron que el problema eran los ejes de las bombas que se encontraban desviados. A pesar de que se reparaban las bombas, las fugas no cesaban, y el comprar bombas nuevas no era una solución viable debido a que no contaban con el presupuesto. Sin embargo, debido al propio diseño de la fábrica, nos indicaron que era posible conducir el licor hacía los tanques de jugo nuevamente, ya que se encontraban en el primer nivel. Se procedió entces a proponer una solución, esta era colocar bandejas en la parte de debajo de cada bomba, para recopilar todas las fugas y que fueran recirculadas a los tanques de jugo. Figura No 50, en el área de resultados, es un diagrama que explica como en cada bomba de desplazamiento positivo se colocó una bandeja en la parte de abajo. Dicha bandeja cuenta con cierto grado de inclinación para enviar todo el flujo a una tubería, la cual desemboca de nuevo en los tanques de jugo. De esta forma se resolvió el problema de pérdidas en la tubería número 23. En Figura No. 104, en anexos, se puede observar una de las bombas de la refinería con la bandeja instalada en la parte de abajo. No hay resultados posteriores a la implementación, ya que esta mejora se llevó a cabo durante el tiempo de reparación del ingenio, y que fuera una disminución de pérdida de azúcar a aprovechar durante la zafra del año 18-19.

H. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem de molinos B

Luego de analizar puntos de descarga de agua del proceso de molienda en Tándem B de molinos, se obtiene un total de tres puntos principales; dichos puntos se encuentran localizados según las Figuras 51 y 52. En Figura 51 se observa el punto A o pérdidas en Tándem, se determinó que dicho punto engloba pérdidas como: fugas de jugo de caña en bombas de jugo y de maceración, fugas en tanques y en canal de molinos, pérdidas por lavado del área y por agua de enfriamiento.

En la Figura No. 53 se puede observar un descenso en las pérdidas de sacarosa por arrastre en Tándem B de molinos. El primer día de análisis se obtiene una pérdida de 7,748.80 kg/día y luego se observa un descenso a menos de 1,500 kg/día en los siguientes días de análisis. Este descenso ocurrió debido a que hubo cambio de estopas y mantenimiento constante en las bombas del área.

Luego del cambio de estopas, dos bombas continuaron con problema de fuga, siendo estas B124 y B126 que se identifican en Figura No. 51 como bomba de jugo de caña y bomba de maceración, respectivamente. En el Cuadro No. 35 se observa la pérdida de sacarosa en estos equipos. Se obtiene que, en promedio, se pierde 10.198 kg de azúcar por día de zafra. Este valor es bajo, sin embargo, debido a la alta concentración de la fuga y el impacto que tiene en las pérdidas, como se mencionó anteriormente, fue necesario realizar un plan de mantenimiento de estos equipos.

Cabe mencionar que, es posible que la pérdida por fuga en bombas no se vea reflejada de manera instantánea en el punto A de medición, sino hasta que es lavada el área.

Otras pérdidas determinadas durante la observación de campo, fueron fugas en el canal de transporte de jugo del Tándem. No fue posible cuantificar debido a que no se logró tomar muestra de este punto por el bajo caudal.

Se logró mitigar la fuga en el canal soldando en las aperturas que la ocasionaban. Se tomó una muestra de un charco provocado por dicha fuga y se obtuvo una concentración de 0.04 ± 0.01 ppm, la baja concentración puede ser debido al deterioro microbiológico por lo que dicha muestra no representa la pérdida real de sacarosa en este punto. Para prevenir esto, es necesario que los trabajadores del ingenio monitoreen el área y realicen inspecciones visuales para determinar fugas.

En la Figura No. 53 se puede observar fluctuaciones tras el descenso en las pérdidas por cambio de estopas. Dichas fluctuaciones pueden ser debido a situaciones atípicas en el proceso de molienda.

Un ejemplo de situaciones atípicas es fuga debido a un exceso de jugo transportado al tanque de jugo de caña, ocasionando un aumento en las pérdidas en Tándem B. Nuevamente, para evitar esto, se recomienda que los trabajadores del ingenio inspeccionen visualmente el área de molienda.

Según la teoría, otra pérdida física que se puede tener en molinos es el mezclado del jugo con la lubricación de las mazas o sistemas de enfriamiento. El ingenio provee de agua de enfriamiento constante a cada molino, parte de esta agua cae directamente a uno de los canales que se dirigen luego al punto de toma de muestra principal o punto A de la figura.

Para determinar si existía pérdida, se tomó muestras en la caída de agua del agua de enfriamiento de cada molino. Los resultados se encuentran en el Cuadro No. 36; se obtuvo una concentración mínima en los puntos, pero, al multiplicar por el caudal total del agua de enfriamiento de las chumaceras de los molinos, se obtiene una pérdida de 176.92 kg/día de azúcar. Se concluye que se tiene pérdida por fuga en chumaceras, sin embargo, no es la principal causante de la pérdida reportada en punto A de la figura.

Cada molino del Tándem B tiene una tubería que recolecta el agua de enfriamiento y que, luego la envía al drenaje. Se tomó muestra de cada una con el fin de determinar si existía pérdida por arrastre fuera de las chumaceras del molino.

En el Cuadro No. 37 se observa que la mayoría de los efluentes de las tuberías no tienen una concentración de sacarosa significativa y se tienen pérdidas menores a 10 kg/día de azúcar, sin embargo, como se observa

en el Cuadro No. 38, la tubería de recolección de agua de enfriamiento del molino 1 y 2, sí muestra una pérdida significativa de azúcar.

Se determinó que la tubería de agua de enfriamiento del molino 1 y 2 contiene pérdida por fuga de jugo de caña por salpicaduras, la cual es luego arrastrada con agua de enfriamiento. Figura No. 109 muestra como una pequeña parte del jugo salpica fuera del Tándem. Para corregir este problema, como se puede observar en Figura 111, fue necesario colocar una pieza metálica que tuviera la función de impedir que el jugo de caña salpicara fuera del Tándem de molinos.

Luego de colocar dicha pieza metálica, hubo un descenso de 1598.75 ± 247.52 kg/día de azúcar a menos de 200 kg/día de azúcar en las siguientes mediciones. Figura No. 110 muestra un cambio de coloración en el efluente de la tubería, lo cual indica que este no está mezclado con jugo.

Tras encontrar una fuente importante de pérdida para el punto A de análisis, se esperaba que luego del día 132 de zafra hubiese una mejora en la recuperación de sacarosa, sin embargo, se reporta en promedio una pérdida inclusive mayor en el día 142 de zafra. Esto puede ser debido a que, se encontró fuga del lado contrario a donde se colocó la pieza metálica, sin embargo, dicho lado no tiene tubería de recolección de agua de enfriamiento.

Por procedimiento del ingenio y para evitar las pérdidas de sacarosa por infección microbiana, todas las áreas accesibles del Tándem B son lavadas regularmente con agua caliente. Dependiendo de la cantidad de jugo estancado pueden lavar de 2 hasta 6 veces diarias.

Las últimas mediciones reportadas fueron realizadas minutos después del lavado del área, esto afecta las mediciones debido a que es posible que, dicha agua de lavado arrastre el jugo de caña estancado obtenido de las salpicaduras hasta el punto A de medición. Esto explicaría el por qué las pérdidas no descendieron luego de colocar la pieza metálica.

Se debe tomar en cuenta que luego de lavar el área, la pérdida que corresponde a las fugas de jugo de caña en el punto A de medición, puede que resulte menor a la que se midió de forma directa en la fuente que produce la fuga, esto debido a una posible infección microbiana en el tiempo que estuvo estancado.

Todas las fuentes de pérdida identificadas que se mencionan en el Cuadro No. 34, pueden significar en promedio una pérdida de hasta el $5.923\% \pm 1.205\%$ de las pérdidas totales que se reportan en Parshall de Patio, tomando en cuenta los cambios de estopas en bombas. Sin tomar en cuenta los cambios de estopas en bombas, las pérdidas en el punto A pueden significar hasta el $63.247\% \pm 20.77\%$ de las pérdidas reportadas en el medidor Parshall de Patio.

En el punto A de análisis se puede obtener, en promedio, un máximo de pérdida de $1,012.80 \pm 205.98$ kg de azúcar al día, tomando en cuenta el cambio de estopas.

El siguiente punto principal de pérdida reportado y analizado es en el canal debajo del área de lavado de conductores o punto B de Figura No. 52 de toma de muestras. Como se mencionó anteriormente, el ingenio realiza lavados con agua caliente a las áreas accesibles al Tándem, este procedimiento también se realiza a los conductores de caña.

Luego de alimentar al Tándem, los conductores de caña pasan por un proceso de lavado con agua caliente, procedimiento que ayuda también a la remoción de trozos de bagazo que puedan quedar atorados en el conductor e impidan su movimiento.

Se determinó que existe una pérdida significativa de azúcar en este procedimiento debido a que la sacarosa restante en el bagacillo se disuelve en el agua caliente de limpieza, además, debido a la presión del agua, dicho bagacillo cae al suelo y se queda estancado en las orillas del área de lavado formando aglomerados en el canal donde la sacarosa restante termina de disolverse.

Según los resultados obtenidos en Figura No. 54, se determina que la pérdida por lavado de conductores puede llegar a significar, en promedio, hasta un $50.667\% \pm 9.796\%$ de la pérdida reportada en un día de zafra en el medidor Parshall de Patio, o puede significar en promedio un mínimo del $5.894\% \pm 1.670\%$. Se puede llegar a perder de $2,333.40 \pm 661.27$ kg/día hasta $8,919.70 \pm 1,561.45$ kg/día de azúcar.

No es posible erradicar en su totalidad la fuente que provoca la pérdida debido a que el lavado de conductores de caña con agua caliente es necesario por lo mencionado anteriormente. Sin embargo, es posible reducirla evitando que se formen aglomerados de bagacillo en el canal en donde se termina de disolver la sacarosa.

Para evitar la caída del bagacillo y asegurar su recirculación al molino se plantea la solución de colocar matajuntas y angulares al lado de los conductores para que sirvan como barreras que retengan el bagacillo hasta su recirculación al Tándem. Dicha solución se puede observar en Figura No. 112 como las pequeñas piezas metálicas a los lados del conductor y en Figura No. 116, como una aproximación al resultado final colocando los angulares.

Finalmente, el tercer punto principal o punto C de Figura No. 53, discutido en el Cuadro No. 34 como “Canal fuera de lavado de conductores”, es una pérdida de sacarosa producida de forma similar a la del punto B.

Previo al lavado de conductores, parte del bagacillo o trozos de caña caen al suelo y una manguera con agua a presión retira del camino los restos de caña, el agua se dirige luego a un canal que desemboca luego a un drenaje que se dirige a los efluentes de patio de caña.

El punto C puede significar una pérdida promedio de hasta el $23.289\% \pm 4.024\%$ de lo que se reporta en el medidor Parshall Patio. Se puede tener, en promedio, pérdidas desde $1,228.02 \pm 313.54$ kg/día hasta de $2,446.26 \pm 441.29$ kg/día en este punto. La solución al problema es la misma que se plantea para el punto B de medición.

Si se continúa con el problema, se recomienda retirar los restos de caña de forma manual y, de ser posible, recircularlos al Tándem de molinos.

A lo largo del proceso de identificación de fuentes de pérdida de sacarosa, se trató de tomar acción para disminuir dichas pérdidas y mejorar el rendimiento de recuperación de sacarosa en el proceso de molienda. Se esperaba un descenso tanto en lo reportado en los puntos de análisis como en lo reportado por el ingenio en los efluentes de Parshall de Patio.

En la Figura No. 55, se observa el comportamiento de las pérdidas de azúcar a lo largo de la zafra. Para apreciar de mejor forma la tendencia se utilizó el método de promedio móvil y se observa que, efectivamente las pérdidas de sacarosa tienen una tendencia decreciente según regresión lineal con ecuación $-0.0053x + 2.0071$, lo cual concuerda con lo esperado.

Luego de cuantificar las pérdidas, se analizó el porcentaje del cual es responsable el Tándem B de molinos y conductores de caña de este para ver el posible impacto que tuvieron los puntos identificados a lo observado en la Figura No. 55.

En el Cuadro No. 39, se observa que los puntos analizados de Figura No. 52 y 53 representan, un mínimo del 247.60 ± 59.05 kg de azúcar por día y un máximo de $10,774.30 \pm 1,596.77$ kg de azúcar por día. Se tiene una desviación estándar entre datos de 3,430.50 kg/día.

En el diagrama de caja y bigote de Figura No. 58 se puede observar que el rango de la pérdida es de 11,193 kg/día, lo cual es un rango amplio. A pesar de que se obtuvo una desviación estándar alta, no se tienen datos atípicos en la muestra.

Se realizó un intervalo de confianza para la media poblacional para concluir de mejor forma el impacto que puede llegar a tener las pérdidas de Tándem B de molinos en los efluentes de Parshall de Patio y el intervalo de pérdida que puede darse por arrastre en este.

El intervalo de confianza de la media poblacional obtenido indica que, con un 95% de confianza, las pérdidas en Tándem B de molinos y conductores pueden ser de 4,130.82 kg/día a 7,444.77 kg/día. Los puntos analizados representan del 21.75% al 46.53% de las pérdidas de sacarosa en los efluentes de Parshall de Patio, esto concuerda con lo esperado debido a que el Tándem B de molinos muele una cantidad menor de caña en comparación con Tándem A, por lo que el Tándem A debe representar un mayor impacto a las pérdidas que Tándem B.

Se realizó una revisión al mantenimiento correctivo y avisos de mantenimiento de las bombas de jugo de caña y de maceración, además, se revisó el manual de uno de los principales proveedores de bombas (*Goulds Pumps*) del ingenio para sugerir un plan de mantenimiento que contribuya a reducir las pérdidas en estos equipos. Este plan se encuentra en el Cuadro No. 45 de resultados.

Los avisos más repetitivos de mantenimiento durante la zafra tienen relación con el área de prensaestopas y el eje. Según esto y lo observado durante las mediciones, se puede concluir que es necesario que se realicen inspecciones semanales de los equipos. Se programó realizar paradas cortas de mantenimiento de estos equipos cada dos semanas, lo cual puede causar tiempo perdido en producción por lo que debe realizarse cuando sea necesario (según resultados de inspección visual de los equipos). El tiempo de estas paradas por mantenimiento debe ser medido y reportado por el ingenio.

Debido a la interacción con jugos de caña, las bombas están expuestas a corrosión o a desgaste por abrasión y deben ser inspeccionadas cada seis meses por corrosión o desgaste. Además, por su uso diario, se debe revisar semanalmente el desgaste en estopas y empaques. Si se observa una fuga constante en estos equipos se debe programar una parada corta por mantenimiento para rectificar el eje.

A pesar de los cambios de estopas realizados, constantemente se tienen avisos para apretar estopas y para diseño de camisas para el eje. En el Cuadro No. 45 se sugiere el realizar una rectificación del eje para evitar su desgaste y fugas durante la operación; se recomienda realizarlo como mínimo cada seis meses o después de cada zafra.

Debido a los cambios realizados para mitigar las pérdidas de sacarosa en molinos, se esperaba un descenso en las pérdidas reportadas durante la zafra 2017-2018 en comparación con la zafra 2016-2017. En la Figura No. 56 se puede observar que las pérdidas semanales en Parshall de Patio de la zafra 2017-2018 descendieron hasta 0.66 kg/t de caña molida, en cambio, lo mínimo de pérdida semanal durante la zafra 2016-2017 (Figura No. 57) fue de 1.75 kg/t de caña molida. La mayor pérdida semanal promedio durante la zafra 2017-2018 fue de 2.79 kg/t, mientras que en la zafra 2016-2017 fue de 3.07 kg/t.

Cabe resaltar que durante la zafra 2017-2018 solo se realizó lavado de caña las primeras semanas y la última, mientras que, en la zafra 2016-2017, se lavó caña todas las semanas. La Figura No. 56 incluye las semanas de lavado y se puede observar que, fueron las semanas de mayor pérdida reportada. Debido a la diferencia entre ambas zafras y lo mencionado anteriormente, se recomienda realizar un análisis de pérdidas de sacarosa en las mesas de lavado de caña y determinar si es conveniente invertir en un equipo de limpieza de caña en seco.

Se recomienda a futuras investigaciones de pérdidas de sacarosa por arrastre de agua el utilizar vertederos en los canales (Punto A y de ser posible punto B de las Figuras No. 32 y 33) para la medición de caudales en lugar del método utilizado para tener un resultado más exacto. Los restos de bagacillo en el fondo de los canales dificultaba la medición de profundidad de estos, por lo que, puede que haya cierto porcentaje de pérdidas ficticias debido al método de medición de caudales utilizado.

Se recomienda utilizar vertedero horizontal de bordes redondeados porque trabaja de manera eficaz hasta en flujos con carga de sedimentos, o un vertedero triangular porque se emplea para flujos bajos como lo es el flujo de los efluentes del punto A.

Se realizaron 10 días de análisis para la obtención de estos resultados, la zafra 2017-2018 tuvo una duración de aproximadamente 170 días. Este estudio se enfocó, mayoritariamente, en identificar las fuentes de pérdida para proponer mejoras para reducirlas y menos en cuantificar la cantidad de azúcar que se pierde a lo largo de la zafra. Si se desea realizar un estudio más preciso sobre la cantidad de azúcar perdida a lo largo de la zafra, se recomienda realizar análisis de pérdida en los puntos propuestos de control, como mínimo, tres veces diarias.

A pesar de que el universo de las pérdidas de azúcar es infinito debido a que se tienen pérdidas cada segundo, el tener un mayor número de muestras mejora los resultados de la comparación con lo obtenido en los efluentes del ingenio.

I. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña.

El objetivo principal de este informe era determinar y cuantificar las pérdidas de azúcar presentes en el Tándem A de molinos y conductores en el patio de caña. Utilizando el método de polarimetría y medición de caudales; para establecer el aporte de este Tándem a las pérdidas totales presentes en el canal parshall de patio.

Para esto, lo primero que se tenía que realizar era la identificación de los principales caudales presentes en los conductores de caña y Tándem A de molinos por medio de un mapeo de los equipos, para determinar las áreas que más aportan a las pérdidas de azúcar del equipo. Este mapeo se puede ver en las Figuras No. 59, 60, 61 y 62. Como primer punto se realizó el análisis de los efluentes de conductores de caña en patio, que se observa en las Figuras 61 y 62. Se identificaron 3 puntos de control ya que los conductores trabajaron en seco durante la zafra 2017-2018 y por tanto no se tenían flujos de entrada en la parte superior del equipo que normalmente se utilizan para el lavado de caña que facilita su preparación en el patio y extracción de azúcar en la parte de molinos. Debido a esto, se tenían tres principales fuentes de agua en el conductor. La primera, ubicada en el punto de control A, es producto del agua utilizada para el enfriamiento de las coronas y engranajes, que cae debajo del equipo y se une al flujo principal. Este está por debajo de los cortadores por lo que en caso de que exista una fuga de bagazo o bagacillo, en las partes laterales del conductor de paletas puede aumentar la concentración de azúcar reportada en el parshall de patio. La segunda, ubicada en el punto de control B, queda por debajo del conductor de alimentación de caña, que es donde se depositan los carretones provenientes de campo. Como se mencionó anteriormente no se lavó la caña durante la zafra analizada, por lo que el único afluente presente en esta parte era para enfriamiento de engranajes y coronas. Sin embargo, debido a que la alimentación se realizaba perpendicular al transporte de planta, en la conexión con el conductor principal, se podían filtrar pedazos de caña entre la luz de ambos conductores y por tanto afectar los resultados. La última, ubicada en el punto de control C, se encontraba en la salida del canal de agua residual hacia el parshall de patio. En este caso se utilizaba agua caliente para remover el bagacillo que se quedaba estancado, en los conductores y que podían causar problemas para el movimiento. El agua utilizada para esta tarea es caliente, ya que se busca limpiar y minimizar el crecimiento microbiano que pueda existir en los conductores. Específicamente el crecimiento de bacterias acidolacticas como *Leuconostoc Mesenteroides* y *Streptococcus mutans*, ya que estas convierten la sacarosa en dextrano, que afecta la pureza de la azúcar que ingresara a los molinos.

Como segundo punto, se realizó el mapeo de efluentes presentes en el Tándem A de molinos mostrado en las Figuras 59 y 60, Para determinar los puntos de control se basó en los principales equipos donde el agua residual era depositada en el canal y que por tanto es regresada a la fuente de agua del ingenio. Con este racional se identificaron 12 puntos de control que aportaban a la cantidad final de agua residual reportada, y el punto de control A, que se colocó en la salida del canal para poder realizar el balance de masa tomando este como el valor final. Se tomaron todas las bombas de maceración como puntos de control para este trabajo, ya que durante las visitas que se realizaron se logró identificar que estas tenían fugas sobre el eje principal, y

que, por la velocidad, expulsaban jugo de cada molino hacia el suelo. Este por la inclinación que tenían en la parte inferior, caían directamente al canal principal. En el caso de los canales G, H e I estos se colocaron, aunque no venían de ningún equipo, pero eran canales que se incorporaban al flujo principal, El canal I, provenía del Tándem B de molinos, El H de agua de limpieza en la parte trasera del Tándem y acumulación de agua proveniente de canales de Tándem A y el G, contenía agua de enfriamiento, pero también de limpieza proveniente del caminamiento antes de entrar a fabrica. Por lo que era importante medirlos para identificar si estos contenían azúcar por arrastre, e identificarlos para las propuestas. Los últimos puntos de control identificados fueron las bombas de maceración, que contenían filtraciones durante el recorrido e identificación de flujos del equipo. No se determinó que existiera alguna filtración o flujo que aportara al canal principal por parte de las bombas de jugo mezclado, por lo que no se tomaron en cuenta como puntos de control para este estudio.

Dentro del Tándem A de molinos, se tenían varios equipos, sin embargo, los únicos efluentes que se tenían hacia el canal principal de aguas residuales, es debido al agua de enfriamiento que se utilizan en las coronas de los 5 molinos del equipo y filtraciones de solución por parte de bombas, equipos de separación y juntas en las coronas. El canal como se puede ver en Figura No.13, pasa por la parte inferior de los molinos, tanques de separación, bombas de maceración y de jugo mezclado, al igual que transportador de bagazo a caldera. En base a esto se plantearon los puntos de control en Figura No.14. Se muestrearon todos los canales que entraban al canal fueron identificados y se puede ver en el mapeo. La parte frontal se encarga de enfriar las coronas del primer molino, específicamente de la masa superior. A este flujo, se suma agua de enfriamiento para coronas de todas las masas del segundo molino del lado izquierdo. Se muestreo en la parte inicial del canal y después de los separadores de jugo, que se encargan de remover el bagacillo por medio de cribas. El siguiente se colocó al final del canal, para tomar en cuenta el agua de enfriamiento de la parte izquierda de los últimos tres molinos. Para el lado derecho, se tenían dos salidas principales que eran depositadas en la parte inferior del Tándem A de molinos, y por lo tanto se midió el canal G y canal final, para determinar la composición del agua a retirar. Por último, se pusieron los puntos de control en cada bomba que se encargaba de transportar jugo a los molinos para el proceso de imbibición.

Una vez identificados los equipos y puntos de control, se prosiguió a cuantificar las pérdidas de azúcar en los diferentes efluentes del sistema por medio de polarimetría para determinar los equipos que puedan estar aportando a las pérdidas totales. Como se puede ver en el Cuadro No.46, se encontró que el Tándem A de molinos y conductores representa del 33.1 al 82% de las perdidas promedio reportadas en el parshall de patio. Este rango fue definido en base a un análisis estadístico donde en base a los percentiles 1 y 3 se prepararon los valores. Como se puede observar más del 30% es representado por los conductores de caña. En este caso una de las razones por las que estas pérdidas aumentaron, es debido a que el equipo de conductores de tablillas se instaló durante la zafra 2017-2018. Esto entonces implica que aunque el equipo es más avanzado tecnológicamente, todavía tiene oportunidades para adaptarse al proceso operativo que se tiene en el ingenio y la materia prima que entra. Durante esta zafra no se lavó la caña, lo cual podía aumentar la dureza de la caña y las impurezas, esto hace más difícil la preparación debido al corte y desfibradora.

Según los puntos de control, se analizaron las principales tuberías del equipo como se puede ver en el Cuadro No.47. En este caso se obtuvo un promedio de las pérdidas totales, sin embargo, debido a que la variación de las pérdidas era muy elevada para tuberías como la A, se realizaron diagramas de caja y bigote para cada una de las corridas. Con estos diagramas, se encontró el rango basado en el primero y tercer percentil, que representan el área donde se encuentra el 50% de los datos realizados con esta medición. Se tomó en cuenta la molienda diaria del ingenio para poder cuantificar los kg de azúcar perdidos por día. Para cada uno de los valores se generaron rangos de aportación. Estos fueron comparados con las pérdidas reportadas por el ingenio en el parshall de patio.

Como se puede ver en Figura No.63 una de las razones por la que los intervalos son tan amplios, es debido a la forma en la que se comportan las pérdidas durante la zafra. Ya que no se podía esperar a que terminara la zafra, se realizaron correcciones en los equipos, como cambios de estopas en bombas, ajustes de eje central, ajustes de coronas para movimiento de masas en Tándem de molinos y reducir limpiezas que pueden acarrear azúcar. Como se puede ver, a mediados de la zafra, se realizó el ajuste de todas las coronas de los equipos y estopas de bombas en Tándem A de molinos. Esto redujo en gran parte las pérdidas, y por tanto aumento la dispersión de los datos. Con esto se realizó una prueba Q, que determino, que los datos tomados previos al análisis no podían ser rechazados. Esto se puede ver en la dispersión de otros canales, medidos, ya que recibían agua de enfriamiento para los equipos como la mostrada en Figura No.138, que era el drenaje de segundo nivel del Tándem, que caía en el canal de aguas residuales.

Basados en los rangos principales, se generó un Pareto mostrado en Figura No.63. Se determinó que el 80% de las aportaciones están dados por el canal C de los conductores de caña, y los canales F, E y H del Tándem A de molinos. Estos son los puntos en los cuales se realizarán más revisiones, ya que generan la mayor cantidad de pérdida. En el caso de los otros puntos encontrados, lo primero que se puede ver es que las bombas no generan una gran cantidad de pérdida, ya que el caudal de salida de estas es bajo. La razón de esto, es debido al uso de estopas nuevas a inicios de la zafra 2017-2018. Ya que las filtraciones de estas, eran de jugo de maceración al realizar el análisis de polarimetría, se determinaba una alta concentración de azúcares en la muestra, pero debido al bajo flujo, no fue determinado como una de las pérdidas más significativas. Otra importante es el lavado del punto de control I, esta corriente proviene del Tándem B y es utilizado como un canal para evitar que se desborde el agua de los canales de ese Tándem. Es por eso que no se tomó en cuenta para las recomendaciones, ya que la solución raíz, proviene del Tándem B. En los canales K y C, esta es agua de enfriamiento que se muestreo después del ajuste de coronas de las masas de molinos. Es debido a esto, que la concentración de azúcar en dichos puntos de control es muy baja, tendiendo a 0, lo que implica que ya no existen fugas en los equipos de molinos, y que el agua que es desechada, no arrastra azúcar en las coronas del equipo. Por último, los puntos C y D, no contiene una gran cantidad de azúcar, el punto de control D es la caída de agua de enfriamiento para las coronas del lado izquierdo del ingenio. El canal C, es donde se lavan los conductores de tablillas, en este caso se eliminó una mala práctica donde se lavaban los limpiadores de criba con una manguera que se depositaba directamente en el canal (Figura No. 143) los limpiadores contenían bagacillo con jugo mezclado que aumentaba las pérdidas presentes en el

Tándem A de molinos. En total estas pérdidas aportaban entre 23.5% y 52.2% con un aporte promedio de $10,911.38 \pm 313.1$ kg/día.

De las cuatro pérdidas identificadas bajo el Pareto que generan el 80% de los aportes de azúcar por parte de conductores de tablillas y Tándem A de molinos, La primera es la generada en el punto de control C que representa del 17.4% al 50.6% de las pérdidas reportadas en el parshall de patio. Al compararlo con los otros puntos de control de conductores de tablillas, se muestra una alta variación entre el azúcar reportado en los puntos de control de conductores A y B. Esto se debe al lavado que se realiza en la parte inferior de los conductores. Este contiene dos sets de lavadores que inyectan agua caliente (70 grados) a las tablillas para poder limpiar las cadenas y evitar que se tenga que realizar un paro por que se atasquen debido a aglomeración de bagazo. Se utiliza agua caliente también ya que se evita el crecimiento microbiológico en los equipos, que si están presentes pueden iniciar la descomposición de la azúcar en dextrana, que no puede ser procesada para refinación y por tanto es una pérdida de producción. La razón por la que se da esta pérdida es por filtraciones de bagazo de la parte superior a la inferior, que es lavado debido a los inyectores de agua y por tanto el azúcar cae por arrastre al canal de agua residual. Esta pérdida es de $11,272.93 \pm 1,388.9$, utilizando un diagrama de caja y bigote se determinaron los rangos de los cuartiles 25 y 75 los cuales fueron; 5,769.46 y 16,776.40 kg/día respectivamente. La razón de la alta variación es debido a factores de mantenimiento y condición de materia prima que podía afectar la medición. En caso se realizará mantenimiento y se dieran lavados de caña, las mediciones aumentaban, debido a que se trataba de limpiar toda la caña y esta caía al canal. Si la caña tenía mucha suciedad, la inyección de agua en la parte inferior aumentaba y por tanto se lavaba más. Las filtraciones de bagazo, se daban debido a que, al momento de transportar el azúcar, el movimiento hacia que se desbordara por los lados del conductor y cayera en las cadenas.

La segunda identificada es el canal F del Tándem de molinos. Este punto de control se encuentra posterior a la caída de agua de lavado y enfriamiento del segundo nivel del Tándem A de molinos y alimentación a banda de transporte de bagazo. Este canal representa una pérdida entre 1,705.87 y 2,739.35 kg/día representando así entre 5.1% y 8.3% de las pérdidas promedio reportadas en el canal Parshall de patio. La principal fuente de esta pérdida se debe a la filtración de bagazo en la alimentación del transportador de banda hacia calderas. Como se puede ver en Figura No.144, se aglomera bagacillo en la tolva de entrada, y luego el agua de enfriamiento lavaba esta azúcar y caía directamente al canal. En este caso la variación es menor, ya que era un flujo constante, que solo era afectado cuando se realizaban lavados con agua caliente en el segundo nivel, sin embargo, por factores de seguridad no se podían realizar mediciones durante este lavado, y por tanto este factor no fue tomado en cuenta.

El tercer punto de control analizado es el canal E del Tándem A de molinos. Este punto de control es el que se encuentra después del separador de bagazo. Para este se realizó un análisis previo al equipo y después para poder entender la diferencia. En el punto de control D se determinó que existía una perdida promedio entre 139.27 y 208.25 kg azúcar/día, debido a lavados y bajas filtraciones en coronas. En el punto de control E, se tiene una pérdida entre 1,338.35 y 2,297.25 kg azúcar/día, en este caso la variación dependía del nivel

de jugo dentro del separador de bagazo, ya que como se puede ver en Figura No.139, la filtración se daba debido a la luz que existe para la limpieza del tanque. Entonces si el nivel del tanque no era tan alto, no se filtraba el mismo nivel de jugo al canal. Esta pérdida es significativa, ya que representa entre el 4% y 6.9% de las pérdidas al día reportadas en el parshall de patio. Esto tomando en cuenta un diagrama de caja y bigote. Por último, el punto de control H es el que se encuentra en la parte trasera del Tándem A de molinos. Este canal tiene una pérdida promedio de 850.02 y 2,240.64 kg/ día. Que representa una pérdida entre 2.6% y 6.8%. Este caso, es una muestra puntual. Esta se generaba solo cuando existía mantenimiento. Ya que, si no se tenía un flujo constante, no se podía cuantificar la cantidad de azúcar. Esto genera el amplio margen de variación.

Por último, se analizaron las bombas, las pérdidas de estos equipos no eran significativas al compararlos con el total del canal, ya que los flujos de salida eran muy pequeños. Como estas bombas se encargan del transporte jugo, la POL que se obtenía era muy elevada y las filtraciones se depositaban directamente en el Tándem como se puede ver en Figura No.143. Durante toda la investigación, se observaron que las pérdidas de azúcar se mantenían. Se realizó un cambio de estopas y de camisa sobre la bomba, pero estos cambios no disminuyeron las filtraciones. Debido a esto se determinó, que, por el mantenimiento, se desgastó el eje, permitiendo así que se dieran las filtraciones de jugo desde la bomba al canal. Para poder tener un mejor control de las bombas se generaron 2 reportes para el correcto seguimiento de las bombas como se puede ver en el Cuadro No.48. Estos están hechos para poder realizar un cronograma de revisiones que logre agregar una función de revisión al área de laboratorio para evitar continuar con las fugas. Este cronograma se realizó para toda la zafra, tomando 152 días efectivos de producción. La razón de que se tomaran en cuenta mantenimiento cada 15 días es debido a que estos tiempos son tomados como muertos en el resumen de zafra y se pueden hacer modificaciones en estos tiempos. También se generó un resumen de gastos y número de mantenimientos correctivos que se han realizado en las bombas. La función es tener un mejor seguimiento de los mantenimientos para garantizar que los cambios sean efectivos. Este es alimentado por los casos reportados por operadores que siguen el cronograma de revisiones, y se ingresa que equipos fueron utilizados para la bomba y el costo de la unidad. De esta manera se sabe la inversión que fue asociada a cada bomba en una zafra.

J. Análisis costos de las propuestas brindadas y estandarización del proceso de costeo y gestión de proyectos.

El objetivo principal de este proyecto consistió en determinar los costos para las cuatro propuestas realizadas por los diferentes integrantes del grupo. Estas se plantearon con el fin de reducir las pérdidas indeterminadas de azúcar en los procesos industriales del ingenio azucarero con el que se trabajó. El análisis de costeo se dividió en tres partes, las cuales son: elaboración de esquema, costos de materiales y costos de mano de obra, esto con el propósito de poder evaluar la viabilidad de cada una mediante un análisis costo-

beneficio, realizado posteriormente en el módulo perteneciente al de Ingeniería en Ciencias de la Administración. Además, según este análisis de costeo, se buscó estandarizar este proceso para facilitar al ingenio la ejecución de futuras implementaciones similares, a las propuestas analizadas en este trabajo. Por último, se gestionaron las actividades y recursos del megaproyecto para tener una mejor organización en el equipo de trabajo y asegurar el cumplimiento de las metas establecidas por cada integrante.

La primera propuesta consistió en la implementación de ocho ventanillas móviles de hierro negro en el equipo de Cush Cush. Esto debido a que en la zafra 2017-2018 se detectó problema de salpicado de jugo de caña por los espacios abiertos del sistema.

En cuanto al diseño, se utilizaron herramientas como diagrama de Ishikawa y lluvia de ideas para determinar la solución más conveniente al momento de implementar la propuesta. Como se puede observar en Figura No.149, se detectaron varias causas por las cuales se daba el salpicado de jugo de caña. Sin embargo, se analizó que la causa principal es que el equipo cuenta con espacios abiertos que permiten el desperdicio de jugo. Luego, en la lluvia de ideas de Figura No.150 se observan todas las posibles soluciones que podrían satisfacer el problema. Para tomar la decisión fue importante tanto evaluar la simplicidad y practicidad de las ideas como discutir las con el ingeniero a cargo del área de molinos del ingenio. Esto es relevante ya que se debe tomar en cuenta la experiencia previa que se ha tenido, así como las necesidades del lugar y los empleados. Por lo tanto, se determinó que la mejor solución consiste en la implementación de una ventanilla móvil que se mantenga cerrada evitando el desperdicio de jugo de caña por el salpicado y que solo se abra para fines de mantenimiento.

Después de establecer la solución, se realizaron mediciones y se utilizó el software de AutoCAD para completar el esquema de la propuesta a llevar a cabo. En Figura No.153 se presenta el “sketch” de las ventanillas móviles con sus respectivas mediciones. El diseño es de gran importancia para que el ingenio tenga claridad y una idea gráfica de lo que se quiere implementar.

En cuanto al costo de los materiales de la primera propuesta, se puede observar en el Cuadro No.174 el detalle de los sugeridos para elaborar la ventanilla móvil. Antes de escogerlos, fue necesario investigar las condiciones de trabajo para asegurar que cumplan con las características requeridas. Se observó que debido al flujo de solución de sacarosa se requieren materiales resistentes a la corrosión generada por la presencia de jugo de caña en el equipo Cush Cush. Además, se discutió la idea con los ingenieros debido a que son expertos en el área y tienen conocimiento de los que se han utilizado en casos anteriores. Durante la discusión también se obtuvieron datos del uso de hierro negro para implementar la ventanilla. Se determinó que el uso de este cumple con las expectativas mencionadas con anterioridad por lo que se decidió incluirlo en el análisis de materiales. Adicional, el hierro negro es un material que tiene disponible el ingenio y es el que comúnmente es usado.

Para determinar los costos sin IVA por unidad de los materiales especificados se usó el sistema interno del ingenio "SIGES". Según las medidas y tomando en cuenta el total de ocho ventanillas, se obtuvieron las cantidades necesarias y los costos totales. En el Cuadro No.176 se observa que el costo total de los materiales es de Q1304 sin IVA, representando el 66% del total de la implementación, mientras el 34% restante, como se observa en Figura No.161, representa el costo de mano de obra el cual se discutirá posteriormente.

Por otro lado, el costo y el detalle de la mano de obra se desglosan en el Cuadro No.55. Se puede observar que se requiere un ayudante y un soldador especializado para implementar las ocho ventanillas móviles. Esto se determinó en base a las actividades y habilidades que este trabajo implica. Junto con el ingeniero a cargo del área de molinos, se determinó que era pertinente asignar solo un soldador y un ayudante para toda la implementación ya que de esta manera se puede controlar mejor el trabajo. Posteriormente, como se aprecia en el Cuadro No.186, se contactó con el departamento de recursos humanos del ingenio para obtener los rangos salariales de ambos trabajadores, los cuales fueron Q16.65/hora para el soldador especializado y Q11.33/hora para el ayudante asignado.

Para esta propuesta los materiales no se fabrican internamente, por esta razón no fue necesario tomar en cuenta el costo de la mano de obra para la fabricación. Respecto al tiempo de instalación requerido, mediante preguntas a los operarios asignados y observaciones, se determinó que el estimado para implementar una ventanilla es de dos horas. Al ser ocho ventanillas en total, el tiempo aproximado para instalarlas es de dos días considerando una jornada laboral de 8 horas al día. Como resultado, se obtuvo que el costo total de mano de obra que se incurrirá para esta propuesta es de Q672 incluyendo prestaciones. Es importante mencionar que para tomar en cuenta las prestaciones se deben multiplicar el rango salarial por 1.5, el cual es un factor de integración. Este factor toma en cuenta todas las prestaciones que la ley de Guatemala impone, tales como: vacaciones, bono 14, aguinaldo, IGGS.

En conclusión, se obtuvo que el costo total de la propuesta No.1 es de Q1, 975, como se detalla en el Cuadro No.59. La implementación de ventanillas móviles es necesaria y factible para la reducción de pérdidas de azúcar y es beneficiosa para el ingenio ya que, como se analizó en el Cuadro No.63, evita el salpicado de jugo de caña tomando en cuenta la disponibilidad que se necesita para los respectivos mantenimientos. Además, para tener una mayor comprensión del resultado, se menciona que en el análisis costo beneficio realizado en el módulo de Ingeniería en Ciencias de la Administración, se observa en el Cuadro No.206 el ahorro por zafra para el ingenio es de Q1,013,881.08.

Las siguientes propuestas se analizan de la misma manera que se examinó la primera con anterioridad y se recalca las diferencias que hay entre cada una de ellas. A continuación, se discute la segunda propuesta, la cual consistió en la implementación de matajuntas en los conductores de jugo de caña para el Tándem A de molinos. Esto con el fin de mitigar la pérdida de azúcar que se detectó en la zafra 2017-2018 debido a la caída de caña de los conductores por los extremos doblados.

Como se puede observar en Figura No.150 se detectó que la razón principal de la caída de la caña de los conductores se debe a los extremos doblados. Por el deterioro que se produce durante la zafra, los extremos se doblan dejando una abertura lo suficientemente grande donde la caña se filtra y cae en la superficie. Como respuesta a este problema, por medio de la lluvia de ideas mostrada en Figura No.151 y la experiencia del ingeniero a cargo de patios, se determinó que la mejor solución es implementar matajuntas en los extremos de los conductores. Esto para evitar que los extremos se doblen y que retengan la caña asegurando de este modo que llegue a los molinos.

Posteriormente de determinar la mejor solución, se procedió a tomar las respectivas medidas del lugar definido a implementar y se realizó el “sketch” preliminar en AutoCAD, como se observa en Figura No.159. Este bosquejo tiene como objetivo proporcionar claridad de la forma de los matajuntas y en la manera que se propone solucionar el problema de caída de caña. En base a este bosquejo y a la investigación obtenida sobre las condiciones del lugar se sugirió utilizar los materiales que se detallan en el Cuadro No.70. El hierro fundido es un material que se caracteriza por su bajo costo, además, tiene una alta resistencia y dureza (Méndez, 2007) que son necesarios para no quebrarse fácilmente al ser sometido a fuerzas y presiones por la caña en los conductores.

Debido a que los matajuntas son piezas específicas, no se contaban los materiales en el área de almacén del ingenio por lo que se cotizaron por medio del departamento de compras a proveedores externos. Como se aprecia en el Cuadro No.71, se necesitan 1100 matajuntas y 57 lb de electrodos para soldar en los conductores. Como resultado, se obtuvo que el costo del material sin IVA es de Q24, 499.82, el cual hace que sea el monto más grande de materiales de todas las implementaciones. Además, como se observa en Figura No.162, los materiales representan el 91% del costo total y tan solo el 9% representa el costo de mano de obra.

Respecto a la mano de obra para implementar los matajuntas en los conductores, como se observa en el Cuadro No.56, se requiere un soldador especializado ya que la principal actividad para instalar es soldar. Como se mencionó anteriormente, los materiales no se hacen en el ingenio, por lo que no se necesita mano de obra de fabricación, solo de instalación. Así como en la propuesta No.1, se le preguntó al operario asignado sobre el tiempo requerido en poder implementar todas las matajuntas determinadas para los conductores y mediante observaciones se obtuvo que el tiempo total es de doce días. En base al rango salarial, el cual es Q24.98/hora, y el tiempo anterior obtenido se determinó que el costo total de implementación de mano de obra, como se detalla en el Cuadro No.56, es de Q2, 398.20 con bonificaciones incluidas. Como se mencionó anteriormente, este costo representa solo el 9% del costo total de la implementación debido a la cantidad de matajuntas requeridas para cubrir los conductores.

Como consiguiente, se obtuvo que el costo total para implementar la propuesta No.2 es de Q26, 897.90 siendo la propuesta más costosa de las cuatro analizadas. Sin embargo, como se puede ver en el análisis crítico

del Cuadro No.64, la implementación de los matajuntas es de total conveniencia y necesaria para poder mitigar la caída de caña que se detectó en la zafra 2017-2018 causando otro desperdicio de azúcar en la producción del ingenio azucarero. Adicionalmente, según el análisis costo-beneficio realizado, el ahorro es de Q8, 467, 983.60.

Respecto a la tercera propuesta se puede mencionar que la manera con la cual se calculó el costo total de la implementación fue diferente a las demás propuestas en el aspecto de mano de obra. Esto se debe a que la propuesta consiste en un cambio de camisas en las bombas B32, B33, B34 y no una implementación como tal. En este caso el problema que se detectó, durante la zafra 2017-2018, fue que las bombas tenían fugas de jugo de caña.

Como se puede observar en Figura No.151, la razón principal del problema de las fugas se debe al deterioro de las camisas por el uso constante durante la zafra, causando filtraciones de jugo de caña en las bombas. Es por esto que se sugirió un cambio de camisa en esas tres bombas detectadas. Cabe mencionar que esto es un problema que ocurre cada zafra, por lo que es una propuesta que el ingenio debe tomar en cuenta anualmente durante la época de reparación.

Para realizar el bosquejo de esta propuesta, se tomaron las medidas de una camisa antigua que el ingenio ya había cambiado (Figura No.167) y posteriormente se realizó un diagrama en AutoCAD, como se observa en Figura No.157. El objetivo de este bosquejo es brindar una idea visual del modelo de la camisa propuesta para las tres bombas centrífugas (Pull Star SPM-54) del Tándem A en el área de molinos.

Luego, se procedió a investigar sobre los materiales necesarios para la elaboración de las nuevas camisas. En base a la experiencia del ingenio en estas actividades, se determinó que el acero inoxidable es el material usado para la fabricación de las mismas. El acero inoxidable es un material que se caracteriza por una alta resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas, alta dureza y ductilidad (Soto, 2010), lo que hace que sea un material pertinente a las condiciones que es sometido dentro de las bombas.

Debido a que el cambio de camisas de las bombas es una actividad que el ingenio realiza frecuentemente, estas se fabrican internamente, específicamente en el taller de metalúrgica. Por esta razón, el costo de los materiales se obtuvo por medio del sistema de costos del ingenio, SIGES. Como se detalla en el Cuadro No.53, el costo del “bushing” necesario para realizar las tres nuevas camisas es de Q 1, 174.41 sin IVA., representando el 52% del costo total de toda la implementación.

El cambio de camisa es una actividad que no solo involucra mano de obra para la instalación, entiéndase el desmontaje y montaje de la bomba, sino también involucra la fabricación de estas. Es por esto que se tomó en cuenta el costo que se incurre del personal requerido para la implementación y fabricación de esta propuesta. Para el costo de fabricación, la persona designada por el ingenio es el encargado de taller. Como

se observa en el Cuadro No.57, esta persona tarda 13 horas para realizar un bushing y el costo por hora es de Q20.80. Como resultado, se obtuvo que el costo de mano de obra para la fabricación de las tres camisas es de Q811.20. Por otro lado, para obtener el costo de la mano de obra de instalación de las nuevas camisas, como se puede ver en Cuadro No.57, se determinó por medio de la experiencia del ingeniero a cargo del área de molinos que era necesario un mecánico de primera y un ayudante, siendo el tiempo requerido de 2 horas por bomba. Con esto, se obtuvo que el costo de instalación de las nuevas camisas para las tres bombas es de Q252.00.

Como se aprecia en el Cuadro No.59, el costo total de la mano de obra es de Q1, 063.02 y el costo total de la propuesta es de Q2, 237.43. Como se observa en el Cuadro No.206, el costo es menor al beneficio por lo que hace que sea una implementación rentable para el ingenio. Adicional, observando el análisis crítico del Cuadro No.19, es una propuesta que aumenta la eficiencia del proceso de producción de azúcar y es una medida preventiva para evitar mayores consecuencias al ingenio, por ejemplo, que la bomba deje de funcionar en su totalidad por no realizar este cambio.

Analizando la cuarta y última propuesta generada por el equipo de trabajo, se sugirió implementar bandejas captadoras en nueve bombas del área de refinería debido a las fugas de “magma” y jugo de caña.

Como se observa en el diagrama de Ishikawa, realizado en Figura No.152, al igual que las bombas de molinos la principal causa es el deterioro de las camisas las mismas. Sin embargo, en este caso, se propuso la implementación de bandejas que capturan el exceso de magma de azúcar que sale de las fugas. Como en todas las propuestas anteriores, se procedió a tomar las mediciones junto con los encargados del área de refinería en donde se propone colocar las bandejas por debajo de las bombas. En base a las medidas tomadas, como se observa en Figura No.163, se procedió a realizar el bosquejo preliminar de las mismas con el objetivo de brindar al ingeniero a cargo del área de refinería una idea visual de la propuesta.

Cabe mencionar, que para esta propuesta a pesar de que el hierro negro fue reciclado para realizar las bandejas, se consideró tomar el costo ya que de igual manera el ingenio ha incurrido en el costo, el cual es de Q612.48. Es necesario también, tomar en cuenta el costo de los electrodos requerido, el cual es de Q78.90, como se aprecia en el Cuadro No.86. Por otro lado, respecto al costo de mano de obra, como se observa en el Cuadro No.86, se requiere un soldador de segunda y un ayudante para poder implementar las bandejas. Además, se determinó que el tiempo es de tres días con un costo por día de Q103.22 y Q90.66 para el mecánico de segunda y el ayudante, respectivamente. Según los datos anteriores, se obtuvo que el costo total de esta propuesta es de Q1563.84, como se aprecia en el Cuadro No.86.

Esta cuarta propuesta fue la que menor costo obtuvo, evidentemente al ahorro de los costos de materiales por usar residuos de hierro negro del ingenio. Se puede mencionar que, por medio de estas bandejas, se podrá capturar el exceso de magma de azúcar de las bombas identificadas con este problema y se podrá redireccionar

este exceso de nuevo al proceso evitando la pérdida de azúcar. Como se observa en el análisis crítico del Cuadro No.173, el impacto de implementar esta propuesta, como todas, es aumentar la eficiencia de producción del ingenio disminuyendo pérdidas de azúcar. Por otro lado, el ingenio ahorra Q62, 843.15 la siguiente zafra por lo que el beneficio es mayor al costo de implementación.

En conclusión, analizando el análisis FODA del Cuadro No.201 sobre el impacto de estas implementaciones en el ingenio, se puede mencionar que todas tienen como resultado final aumentar la eficiencia de producción mitigando las pérdidas identificadas descritas anteriormente de la zafra 2017-2018. A pesar que los costos de las propuestas pueden estar sujetos a variaciones por factores externos durante la implementación, el beneficio es mayor que su costo, como se puede ver en el Cuadro No.203 del análisis costo-beneficio, realizado en el módulo de Ingeniería en Ciencias de la Administración. También se detectó que ninguna propuesta requiere de muchos recursos logísticos por lo que esto es una ventaja para el ingenio al poder implementarlas con mayor facilidad y evaluar su resultado en la zafra 2018-2019.

Después de realizar el análisis de costos para las cuatro implementaciones propuestas al ingenio, se determinó que la metodología para obtener el costo total de estas fue muy similar. Además, por medio de las visitas al ingenio se detectó que actualmente se tienen muchas dificultades al momento de llevar a cabo nuevas implementaciones. Esto se debe a que no se tiene un proceso estandarizado para cada área por lo que cada ingeniero sigue un diferente procedimiento provocando dificultades en el flujo del proceso. Es por esto que el objetivo No.4 de este módulo consiste en estandarizar el proceso de costeo, con el objetivo de facilitar al ingenio la ejecución de futuras implementaciones similares a las analizadas.

Para empezar, como se observa en Figura No.68, se realizó un EDT donde se descomponen jerárquicamente los factores que se tienen que tomar en cuenta a la hora de costear una implementación como las analizadas anteriormente (Diseño, Materiales, Mano de Obra). Primero se empieza con el diseño, el cual se compone de tres etapas: investigación: Se investiga la causa del problema por medio de un diagrama de Ishikawa y se plantean soluciones por una lluvia de ideas; decisión: Se llega a una decisión sobre la solución más adecuada; ejecución: Abarca la toma de medidas para que posteriormente se realice el bosquejo en un software de diseño determinado.

Como segundo factor, se tomaron en cuenta los costos de los materiales, los cuales también se componen en tres etapas: Investigación: Se investigan las condiciones del lugar de implementación para determinar el material que satisfaga las necesidades que el lugar requiere; Decisión: Se toma la decisión en base a la investigación, sobre el material más pertinente; Costeo: Se obtienen los costos por medio del departamento de compras o por medio del sistema interno SIGES.

Por último, en el tercer factor se consideraron los costos de mano de obra, los cuales constan de: Establecer mano de obra: Se determina qué tipo de mano de obra requiere la implementación y los rangos

salariales; tiempos: Se obtiene los tiempos necesarios ya sea de instalación y fabricación de los materiales por parte de la mano de obra; Costeo: En base a los tiempos y rango salariales se calculó el costo total de la mano de obra.

Respecto a las Figura No.65, No.66 y No.67, luego de realizar el EDT e identificar los factores claves para el costeo de una implementación, se observa el manual del proceso con el detalle de todos los puntos que el ingeniero a cargo debe tomar en cuenta por cada factor y etapa explicados anteriormente. Este documento es la guía de cómo ejecutar el proceso de costeo de implementaciones similares a las analizadas en este trabajo. Como se observa, por cada etapa se incluye el responsable que debe llevar a cabo la misma. Además, se documenta un ejemplo realizado con estas propuestas para que el ingeniero a cargo pueda tomar como guía y tenga una idea de lo que se refiere cada etapa.

Como se mencionó anteriormente, este documento tiene como objetivo considerarse como manual al momento que un ingeniero quiera obtener el costo de alguna implementación propuesta en el ingenio y que al seguirlo tenga la seguridad que el resultado final sea el presupuesto total.

En Figura No.67, se realizó un DOP, el cual es de suma importancia para dar visibilidad al ingenio de cómo el proceso de implementaciones debe fluir y la secuencia de operaciones que se deben realizar para llegar al resultado final, el cual es obtener el costo total de la propuesta tomando en cuenta los puntos que la guía de Figura No.65, No. 66 y No.67 detalla. Por último, en Figura No.187, No.188 y No.189, se presenta una plantilla realizada con la herramienta de Microsoft Excel, cuya finalidad es, por medio del ingreso de datos, calcular el presupuesto total de una implementación y posteriormente la evaluación de la viabilidad financiera. Esta plantilla es una herramienta que facilita al ingenio la evaluación de llevar a cabo una implementación similar a las analizadas en este trabajo, en base a un análisis costo-beneficio.

Con relación al objetivo de gestión de proyectos, se menciona que consiste en llevar el seguimiento del proyecto por medio de documentos y herramientas que ayudaron a gestionar las actividades y recursos del megaproyecto, especialmente garantizar el cumplimiento de los objetivos. Para esto se empezó con el acta de constitución del proyecto, como se observa en el Cuadro No.61. En este se describió en qué consiste, el alcance, los interesados y sus respectivos roles. El principal objetivo de este documento es autorizar el megaproyecto y dar claridad en lo que consiste. Este es de gran importancia ya que da una visión a los integrantes e involucrados sobre el objetivo principal y, en base a esto, cada uno definir sus objetivos específicos.

Como parte de los resultados del plan de gestión de proyectos se debe incluir la comparación entre el EDT inicial y final, como se observa en Figura No.68 y No.69, respectivamente. Una de las dificultades que se presentó en el megaproyecto fue el cambio de propuestas a implementar por parte del área de química.

Estas propuestas al ser cambiadas generaron discrepancias con los objetivos iniciales del módulo de Ingeniería Industrial, las cuales se pueden apreciar en las dos figuras mencionadas.

Por otra parte, con relación a la ejecución del proyecto, se detalla en el Cuadro No.60, la matriz de riesgos que se detectaron. Junto a esta se puede observar el plan de respuesta y acciones de dichos riesgos para facilitar la gestión de ellos y evitar que fueran motivos de atrasos. Además, como plan de gestión del proyecto se procedió a realizar una matriz de responsabilidades, como se aprecia en Figura No.71. Esta matriz es de valor al proyecto ya que se identificaron los roles que cada participante tenía para las diferentes actividades requeridas. Además, de esta manera se aseguró que cada uno de los componentes del alcance del proyecto estuviera asignado a una persona del equipo.

Por último, como plan de gestión de proyectos, se realizó un documento de cierre de proyecto, como se observa el Cuadro No.62. Esto con el fin de establecer internamente en el grupo que los objetivos se cumplieron conforme a los que se habían planteado inicialmente. Además, como se observa en las Figuras No.178-186, el diagrama de Gantt del proyecto da visibilidad de los tiempos por cada objetivo del equipo de trabajo y detalla el tiempo total del proyecto.

Terminando la discusión de resultados de trabajo, existieron diferentes fuentes de error que pudieron haber afectado los resultados obtenidos. Con respecto al análisis de costos se pudo haber dado el error que los tiempos de implementación de las propuestas determinados por la retroalimentación de los operarios no fueran del todo exactos, afectando de esta manera el costo de la mano de obra calculada. Por otra parte, en relación a la estandarización del proceso, se pudo haber presentado el no tomar en cuenta alguna etapa que no aplicó para las propuestas analizadas en este trabajo, pero que sí aplica para otras propuestas de la misma naturaleza. Respecto a las fuentes de error del objetivo de gestión de proyecto, se puede mencionar que se basa en los tiempos estimados en el diagrama de Gantt ya que hubo cierta holgura en las fechas de entrega causando variaciones en los tiempos.

En conclusión, las propuestas sugeridas para reducir las pérdidas de azúcar indeterminadas en el ingenio azucarero en total tienen un costo de Q32, 000. Este es un presupuesto grande para el ingenio, sin embargo, al realizar el análisis costo-beneficio, se puede concluir que el impacto de estas implementaciones es beneficioso para el ingenio con un beneficio de Q9, 550, 637.97 como se observa en el Cuadro No.87, además de aumentar la eficiencia de producción del ingenio mitigando pérdidas de azúcar. Adicionalmente, es importante recalcar que la importancia de estandarizar el proceso de costeo de implementaciones similares a las analizadas en el trabajo es de mucho valor, ya que actualmente el ingenio no posee una guía sobre el flujo de trabajo por lo que en cada área se trabaja diferente generando poca efectividad. Por último, se menciona que haber llevado la gestión del proyecto aseguró que el alcance del mismo se cumpliera y se tuviera una mejor organización de las actividades y recursos en el equipo de trabajo.

K. Análisis de rentabilidad y viabilidad con base en las propuestas realizadas al ingenio

Con el objetivo que a lo largo del documento se presente la misma estructura y de esta forma, sea más sencillo su entendimiento, se abordará el análisis de los resultados previamente mostrados bajo el mismo orden que las secciones anteriores, es decir, abordando cada uno de los objetivos específicos por separado.

Comenzando en lo que respecta a la realización de un análisis económico comparativo en donde sea posible visualizar tanto las pérdidas de azúcar determinadas por el equipo de trabajo en una medida estándar⁵, y que sean comparadas con el monto económico que representan las mismas.

De igual manera, se obtuvo, con base en las pérdidas de azúcar que son reportadas por parte del ingenio, el porcentaje que representa cada una de las pérdidas medidas por el grupo de trabajo para que así se pudiera determinar en qué medida contribuyen estas pérdidas a las del ingenio.

Tras obtener los resultados es posible mencionar que se cumplió con el objetivo previsto para este apartado. Se obtuvieron los datos necesarios para poder realizar el análisis económico comparativo y, de igual forma se obtuvieron los porcentajes previamente mencionados.

Antes de proceder con la discusión de los resultados es importante mencionar que, para que se tenga un orden en los mismos, se estará abordando cada una de las propuestas por separado y de esta forma se podrán discutir tanto, las pérdidas de azúcar obtenidas, la pérdida económica que estas representan y, el porcentaje al que equivalen respecto a las digitadas por el ingenio.

Comenzando con la propuesta que respecta a los conductores de caña en el Tándem A, tal y como se puede observar en los Cuadros No. 63 y 64, se determinó que en el conductor de caña “C”⁶ presenta una pérdida total de 2.50 kg/t de caña de azúcar la cual, luego de que se realizaron todos los cálculos necesarios, se determinó que equivale a una pérdida monetaria de GTQ 8,467,983.60.

Cabe mencionar que el principal problema que se identificó en esta área fue que el bagazo que estaba siendo transportado hacia la fábrica, al acumularse en la banda transportadora del conductor se rebalsaba y esto ocasionaba que cayera por debajo de la misma, en las cadenas localizadas debajo del conductor; debido a que, para que esta banda fuera lavada se esparcía agua caliente sobre la

⁵ La medida utilizada kilogramo por telada métrica de caña de azúcar.

⁶ Fue tomado solamente en cuenta el conductor de caña “C” debido al flujo en los demás conductores de caña (A y B) las pérdidas determinadas son insignificantes, lo que hace importantes a las del conductor “C”

misma, y de esta manera, la caña de azúcar se desperdiciaba ocasionando su caída hacia el canal localizado debajo de los conductores que fue en donde se localizó la pérdida de azúcar.

Luego de hacer los cálculos pertinentes, se determinó que esta pérdida representaba un total de 24.28% de las pérdidas generadas en el ingenio durante los días en que se realizaron las mediciones respectivas⁷. Para poder reducir esta pérdida de azúcar determinada en los conductores del Tándem A, se brindó una propuesta que consiste en adjuntar al conductor mencionados unos “matajuntas”⁸ el cual puede ser observado en Figura No.3 junto con unos “angulares”⁹, dicha propuesta será extendida en la discusión del siguiente objetivo específico del trabajo con sus respectivas especificaciones.

Dentro del mismo apartado, en lo que respecta a los conductores de caña del Tándem B, tal y como se puede observar en los Cuadros No. 65 y 66 se determinaron pérdidas de 15.89 kg/t de caña de azúcar la cual, posteriormente a que se realizaran los cálculos necesarios, se encontró que equivale a una pérdida monetaria de GTQ 37,211,395.44.

Puesto a que se trata de una pérdida localizada en la misma maquinaria que la anterior, solamente que con la variante que se encuentra un Tándem diferente, se tomó el mismo problema identificado en la banda conductora de caña de azúcar hacia la fábrica en donde el mismo se rebalsaba causando así, un desperdicio en el canal a la hora de que era realizado el lavado con agua caliente por parte de lo operarios y fue aquí en donde se determinó la pérdida de azúcar significativa.

Cabe incluir que, tras realizar los cálculos necesarios sobre la pérdida de azúcar antes mencionada, se determinó que esta contribuye en total, un 23.02% a las pérdidas que fueron reportadas por parte del ingenio en los días que se realizó la medición en este punto¹⁰. Al igual que en el apartado anterior, se brindó la misma propuesta sobre los conductores de este Tándem respecto a los matajuntas y los angulares, respectivamente.

Continuando en lo que respecta a la propuesta relacionada con el cush, cabe mencionar que este punto identificado tiene un aspecto específico y es que, a la hora de determinar las pérdidas se encontró que la mayoría de estas era debido a una salpicadura fuera del mismo localizado fuera de los molinos, es por esto que tal y como se observa en los Cuadros No. 67 y 68 se determinó que las pérdidas totales de 0.30 kg/t de caña de azúcar las cuales, luego de que se realizaron los cálculos

⁷ los días en que se tomó el muestreo fue 24 de febrero, 3 de marzo, 10 de marzo y 7 de abril del año 2018, respectivamente. ⁸ revisar marco teórico para la definición.

⁹ Revisar marco teórico para la definición.

¹⁰ Los días en que se tomó el muestreo fue 22 de febrero, 3 de marzo, 8 de marzo, 15 de marzo, 26 de marzo, 5 de abril y 12 de abril del año 2018, respectivamente.

respectivos y necesarios para poder expresar estas pérdidas en una medida monetaria, se obtuvo que equivalían a GTQ 1,013,881.08.

Como se mencionó anteriormente, el problema identificado en el cush cush recae en una salpicadura lo que causaba que el jugo de caña fuera desperdiciado y por este medio llevado al canal hacia el canal parshall en donde era desechado con las demás pérdidas identificadas.

Al igual que con las pérdidas mencionadas anteriormente, se realizaron los cálculos necesarios en donde se determinó que estas pérdidas contribuyen en total, un 12.76% de las pérdidas reportadas por el ingenio en los días que se realizaron los muestreos¹¹. En este apartado se brindó una propuesta distinta, la cual beneficiara tanto al ingenio como al grupo de trabajo en el tema de la reducción de las pérdidas de azúcar, es por esto que se propuso la idea de realizar una compuerta que fuera corrediza para evitar las salpicaduras fuera del cush cush y es realizada de esta forma para facilitar el lavado del para que, de esta forma, solamente se mueva cuando sea necesario y sea cerrada nuevamente de manera sencilla. Dicha propuesta será detallada más adelante en su apartado específico.

Seguido, respecto a la propuesta relacionada con las bombas, tanto del Tándem “A” como las bombas del Tándem “B” de maceración y de jugo de caña, como se puede observar en los Cuadros No. 69, 70, 71 y 72 se tomó el muestreo de tres bombas en el Tándem “A”¹² en las cuales se determinó una pérdida total de 9.08E-04 kg/t de azúcar de caña, 1.28E-03 kg/t de caña de azúcar y 3.05E-03 kg/t de caña de azúcar, respectivamente; los cuales, hacen su equivalencia a GTQ 5,930.14

Cada una de estas bombas representó en total el 0.02%, 0.03% y el 0.07% respectivamente de las pérdidas representadas por el ingenio en los días en que se tomaron las muestras.

En lo que respecta al Tándem “B”, tal y como se puede observar en el Cuadro No. 73, en las bombas de este Tándem se determinó una pérdida total de 4.06E-05 kg/t de caña de azúcar, la cual hace su equivalencia a un total de GTQ 95.14.

Para estas bombas se determinó que tienen representadas en total el 0.005% de las pérdidas registradas por el ingenio en los días que tomaron las muestras.

Cabe mencionar que las pérdidas que fueron determinadas en esta área fueron debido a una fuga de jugo de caña encontrado en cada una de las bombas previamente mencionadas, tanto del Tándem “A” como del Tándem “B”; para poder lidiar con este desperdicio y las pérdidas, se propuso un cambio en la camisa de las bombas para que de esta manera se encuentre más ajustada cada una de estas y reducir de esta forma

¹¹ Los días en que se tomó el muestreo 30 de marzo y 12 de abril del año 2018, respectivamente.

¹² Las bombas que en donde se tomó la muestra son “B32, B33 y B34”, tomadas en los días 24 de febrero y 17 de marzo, respectivamente.

el desperdicio por medio de las fugas. Dicha propuesta será descrita más adelante.

Finalmente, en lo que respecta a la última propuesta que fue brindada al ingenio que está relacionada con el área de la refinería bajo la premisa de unas fugas y con el objetivo de obtener este desperdicio identificado en forma de pérdidas de azúcar y recircularlo hacia los clarificadores, como se puede observar en los Cuadros No. 74, 75, 76 y 77 para las tuberías 21, 22 y 23¹³ se obtuvo una pérdida total de 3.70E-04 kg/t, 3.20E-02 kg/t y 5.06E-04 kg/t de caña de azúcar, respectivamente, la cual, luego de realizar los cálculos pertinentes se determinó que equivale a un total de GTQ 188,529.46

Justo igual que como fue expuesto en las pérdidas anteriores, se realizaron los cálculos necesarios para poder determinar el porcentaje en el que las pérdidas expuestas representaban a las pérdidas generales registradas por ingenio. Como se puede observar en los mismos Cuadros antes mencionados, estas contribuyen a un 0.01%, 0.49% y 0.001% de las tuberías 21, 22 y 23 respectivamente. Para este apartado se brindó una propuesta un tanto distinta y más simple que las demás en el ámbito del diseño y del costo de esta ya que se trata de unas bandejas que son colocadas debajo de las bombas ubicadas fuera del área de la refinería con cierta inclinación para que estas, conduzcan los desperdicios de estas hacia unas tuberías conectadas entre ellas y así, recircular el desperdicio de jugo que se tenía en este punto hacia el clarificador.

Siguiendo con la discusión de los resultados obtenidos, es momento de indagar en aquellos que se obtuvieron a partir de la realización del siguiente objetivo específico; en dicho objetivo se construyó un análisis de rentabilidad con base en costos, porcentajes obtenidos y retornos, con el objetivo primordial de poder determinar la viabilidad de imponer las propuestas que han sido generadas al ingenio por parte del equipo de trabajo, los costos obtenidos fueron brindados a partir del módulo de trabajo de la división industrial en donde, se determinaron aquellos que incurren a la implementación de cada una de las propuestas tras obtener estos, se compararon contra los costos que están relacionados con la pérdida de azúcar que se identificó en cada uno de los puntos estudiados.

Como se puede observar en los Cuadros No. 78 y 79 los cuales hacen referencia a la propuesta antes mencionada de los conductores de caña, se obtuvo un costo de implementación de GTQ 26,897.90, en comparación, por el lado de la pérdida obtenida en dicho punto cuando fue medida por parte del equipo de trabajo, se obtuvo una pérdida cuantificada en GTQ 8,467,983.60, lo cual, basándose en

¹³ Tubería 21: Cabezal de drenaje de filtro de licor tratado y 2da filtración

Tubería 22: drenaje de enjuague de tachos de refinería

Tubería 23: Drenaje de piso 2do nivel de refinería a bomba de tanque de tratamiento

teoría financiera, se obtiene un beneficio al implementar la propuesta planteada que consiste en la imposición de matajuntas junto con piezas angulares a lo largo de todo el conductor para evitar así que exista un desperdicio en la caña que es transportada hacia la fábrica.

Siguiendo, en lo que respecta al área de bombas en la fábrica del ingenio, tal y como se puede observar en los Cuadros No. 80, 81 y 82 se obtuvo un costo de implementación de GTQ 2,237.43, y por el lado de la pérdida cuantificada de manera económica se obtuvo un total de GTQ 5,930.14. Con base en los resultados obtenidos es posible mencionar que la implementación de dicha propuesta es viablemente económica.

Continuando en lo que respecta al área del cush cush, como se puede observar los Cuadros No. 83 y 84 se obtuvo un costo de implementación de GTQ 1,975.00 que respecta a la imposición de las ventanillas en los 8 tramos determinados con el fin de que estas puedan ser corredizas y solamente movidas en caso se necesite hacer un lavado y ayuden así, a retener la salpicadura que produce la pérdida de jugo de caña , así mismo, se obtuvo un costo en la pérdida determinada de GTQ 1,013,881.08 el cual, justifica el costo obtenido en este punto de la fábrica.

Por último, en lo que respecta a la propuesta relacionada con la recirculación del jugo de caña hacia los clarificadores, como se puede observar en los Cuadros 85 y 86, se obtuvo un costo de implementación de GTQ 1, 563.84 el cual respecta a la imposición de las bandejas debajo de las bombas ubicadas fuera de la refinería con el propósito de que en estas pueda caer el desperdicio provocado en las mismas y así, sea llevado por medio de una tubería que conecta a todas las bombas hacia el clarificador de vuelta para que dicho jugo continúe dentro del proceso de recuperación de azúcar. Dicho costo está respaldado por el costo de la pérdida de azúcar que se obtuvo en el mismo punto, el cual, como se puede observar en la misma imagen, se determinó que es de GTQ 188,529.46

Tal y como se puede observar en el Cuadro No. 59, luego de obtener los respectivos costos de la implementación de cada una de las propuestas se determinó que los totales son de GTQ 32, 674.12 lo cual nos indica, que es un costo respaldado por la cantidad económica que se estaría ahorrando en el trabajo luego de la implementación de todas las mejoras propuestas en el presente trabajo la cual se puede observar en el Cuadro No.87.

Como último punto de la presente discusión de resultados, se abordará el tema que respecta a la elaboración de un diagrama de bloques para estandarizar el proceso de costeo y de realizar un análisis financiero para la implementación de nuevas propuestas en el ingenio, con base en las que fueron brindadas por parte del equipo de trabajo.

Tras obtener dicho diagrama, es posible mencionar que se cumplió con el objetivo propuesto inicialmente ya que se logró plasmar de una manera visual todo el proceso de costeo y el proceso de

la realización del análisis financiero que, cabe mencionar, fueron hechos en base a los módulos definidos como la realización de un análisis de costos y documentación de proceso para las implementaciones de las propuestas para la reducción de pérdidas de azúcar dentro de la fábrica de un ingenio azucarero, y análisis económico y de viabilidad para la determinación del ahorro en las propuestas dentro de la fábrica, relacionadas con las pérdidas de azúcar producidas en la zafra.

El propósito de la realización de este diagrama fue un problema identificado dentro del proceso de implementación de una nueva propuesta dentro del ingenio; se determinó que no existe uno ordenado a seguir para poder llevar a cabo una nueva propuesta, tampoco se tiene un uno para determinar, el costo de la misma ni para realizar análisis financiero necesario y así, determinar la viabilidad de esta, tomando en cuenta aspectos como la pérdida de azúcar en el punto que se está estudiando para la nueva implementación y las pérdidas monetarias en el mismo.

Bajo esta premisa se decidió construir este diagrama que estaría ayudando al personal de ingenio a seguir una serie de pasos y cumplir con ciertos requerimientos para llegar al resultado esperado.

Dentro de lo que respecta en sí, a la discusión del resultado obtenido, como se puede visualizar en la bosquejo de Figura No.72 y posteriormente en la imagen original, inicialmente se dividieron los cuatro pilares esenciales que fueron mencionados anteriormente para poder describir de una manera específica cada uno de estos; comenzando con el diseño, este pilar fue dividido en tres partes, se determinó necesaria una etapa de observación en donde sea posible entender las causas del problema que se está abordando junto con una lluvia de ideas que permita identificar las posibles soluciones al problema. Posterior a esto, se determinó que se requiere de una etapa de evaluación en donde es posible tomar la decisión más acertada a trabajar para poder combatir el problema identificado, finalmente se determinó que se necesita una etapa de ejecución que permita plasmar el diseño que se ideó anteriormente para que así, se tenga una representación visual.

Luego, en el segundo pilar que se refiere a los insumos que han de ser necesarios para la implementación de la propuesta, se determinó que son necesarias las 3 mismas etapas que anteriormente fueron descritas con la excepción de que en este apartado se determinó que para la etapa de investigación se ha de determinar el mejor lugar junto con las condiciones ideales para poder implementar la propuesta deseada, así mismo se contempló la obtención de una retroalimentación por parte de los encargados y trabajadores del área identificada para poder tener la información de la misma con datos adicionales; por el lado de la etapa de evaluación, se determinó que es necesario tomar una decisión respecto a los materiales a utilizar según la investigación hecha previamente del lugar en general donde estará localizada la propuesta; por último, pero no menos importante, se determinó una etapa de costeo en la cual es necesario obtener una cotización por parte del sistema electrónico interno manejado por el ingenio conectado hacia el almacén o bien, por medio de una cotización externa.

Para el último pilar que se refiere al costo de la mano de obra en donde se incluye el cuarto pilar relacionado con los tiempos de realización e instalación de las propuestas, este hace hincapié en todos aquellos recursos humanos que fueron requeridos para poder llevar a cabo la implementación. En este pilar se determinó que se requieren dos etapas, una de investigación que incluye el rango de especialización que tendrá el personal capacitado para poder llevar a cabo la propuesta y, el tiempo, entrando en este caso como cuarto pilar por medio del tiempo de realización, referido al tiempo que tomará al especialista realizar la pieza o propuesta determinada, y el tiempo de instalación, referido al tiempo que se tomará la implementación total de la propuesta, por último en este apartado se determinó el rango salarial de cada uno de los especialistas que serán requeridos para la implementación de la propuesta tomando en cuenta el tiempo de trabajo que brinden y su remuneración estipulada por el ingenio; finalmente se determinó la etapa de costeo en donde se obtiene el costo final de la mano de obra que será tomada en cuenta para el costo final de la implementación.

Luego de obtener el detalle de todos los costos incurridos en el diseño, los insumos y la mano de obra necesaria para la implementación de la propuesta, se obtuvo el costo final de la implementación que se refiere a la suma de todos los pequeños costos previamente indicados en los cuatro pilares.

Cabe mencionar que, en cada uno de los pilares junto con sus etapas, se agregó un ejemplo para que de esta forma se tuviera un mejor entendimiento.

El costo obtenido previamente, es el costo que se utilizó como parámetro de comparación respecto al costo de la pérdida obtenido en el análisis financiero.

En el momento en que se realizó el proceso para la realización del análisis financiero se determinó que es necesario contar con los siguientes datos para que sean incluidos dentro del mismo, una cantidad significativa de muestras en los puntos de interés identificados, la realización de los cálculos necesarios para la obtención de las pérdidas de azúcar en los puntos de interés identificados (expresados en lb/t de caña de azúcar), dependiendo de la cantidad de muestras obtenidas, el precio actual o bien, el precio total de la libra de azúcar en el mercado (Contrato No. 11 de la bolsa de valores de Nueva York), el tipo de cambio de dólar estadounidense a quetzal actual o bien, un total de este.

Tras obtener el costo total de la implementación con todos los aspectos tomados en cuenta, se procedió a estandarizar el proceso para la realización del análisis financiero y así, obtener un punto de vista objetivo respecto a la viabilidad de la implementación de las propuestas.

Para la estandarización efectiva de este proceso se determinaron cuatro aspectos necesarios a realizar, comenzando con la pérdida determinada en lb/t de caña de azúcar, se determinó que tras obtener un punto específico en donde se estaría implementando la propuesta era necesario tomar en cuenta, la cantidad de azúcar se estaba perdiendo en el proceso, para lo que se necesita tener un monto significativo de muestras en una

medida estándar.

Posterior a esto, se determinó necesario la cuantificación monetaria de las pérdidas de azúcar trasladándolas a su equivalente en dólares estadounidenses y quetzales en donde se tomaron en cuenta aspectos como: el punto de control, la pérdida de azúcar total por día de muestreo, el precio del contrato No. 11 de azúcar en el mercado, el tipo de cambio actualizado y la cantidad de teladas molidas por el ingenio durante la época de zafra.

Luego de obtener los datos necesarios que respectan a la pérdida registrada en lb/t de caña de azúcar y su equivalente en fuente monetaria se determinó que es necesario hacer la comparación de los 2 costos, tanto el de la propuesta, determinado y descrito anteriormente contra el de la pérdida de azúcar obtenida en el punto de interés con el fin, de poder determinar de esta manera la viabilidad de la implementación de la propuesta por el lado económico teniendo en cuenta cuánto se está desperdiciando de azúcar, qué gasto genera esta pérdida para el ingenio y qué costo total se ha de realizar para poder combatir la misma

VII. CONCLUSIONES

1. Propuestas de mejora en muestreo de jaulas de caña

- a. El proceso de muestreo actual de las jaulas de caña de corte mecanizado consiste en la cosecha, transporte, muestreo, preparación de la muestra y análisis con equipos de laboratorio, de los cuales se pueden identificar las principales variables de estudio: Variedad de caña, tiempo de viaje, distancia de viaje, temperatura, humedad, método de desfibrado y tipo de desfibradora.
- b. Las variables que generan una mayor variabilidad en la respuesta del porcentaje de Pol en la caña de azúcar son “variedad de la caña”, “rango de distancia” y “rango de temperatura” según los resultados del análisis factorial de Minitab, donde el valor p para cada variable es menor a $\alpha = 0.05$ respectivamente.
- c. Los modelos matemáticos propuestos para explicar el comportamiento de las variables grados Brix y Peso de torta húmeda, a partir de los factores críticos “variedad”, “temperatura promedio” y “distancia de viaje”, se encuentran representados por las Ecuaciones 17 y 18 en Resultados, las cuales únicamente presentan un coeficiente de determinación de 29.21% y 27.03% respectivamente.
- d. Existen más variables críticas que no se tomaron en cuenta o que generan interferencia, por lo cual no se logró obtener un coeficiente de determinación lo suficientemente confiable (superior al 85%) para predecir y corregir los resultados del porcentaje de Pol en las muestras de caña analizadas.
- e. La diferencia entre la corrección del rendimiento de azúcar promedio, para los días entre el 18 de febrero y 20 de marzo, para el análisis factorial de Brix y PTH es de 23.389 kg/T con una desviación estándar de 4.054 kg/T, mientras la diferencia entre rendimiento estimado y rendimiento real es de 27.841 kg/T con una desviación estándar de 1.417 kg/T. Lo que equivale a una reducción porcentual de 15.99% en las pérdidas “ficticias” en el patio de caña.
- f. El programa permite realizar la corrección de las muestras de caña de azúcar a partir de los resultados de las variables identificadas como críticas, colocando los resultados medidos de temperatura promedio, variedad, distancia entre finca e ingenio y el resultado del análisis de polarimetría.

2. Validación de métodos analíticos y de laboratorio

- a. El método de polarimetría utilizado para la determinación de trazas de azúcar en efluentes del ingenio azucarero en un rango de 300 a 3500 ppm de sacarosa tiene una alta correlación con el método de cromatografía líquida de alta resolución, con un porcentaje de variación promedio entre métodos de 3.34% y una desviación estándar de 2.17% en función del caudal. La curva de calibración para el método de polarimetría con respecto al método de HPLC mostró una ecuación de $y = 0.955x + 29.229$, con un coeficiente de regresión lineal (R^2) de 0.9991, demostrando que los resultados de los métodos analíticos son muy parecidos y el método de polarimetría se puede utilizar para la determinación de trazas de azúcar, dentro de este rango establecido.
- b. Se determinó que los canales de Parshall, tanto de patio como de fábrica, cumplían con las dimensiones establecidas y validadas de diseño para la determinación del gasto de agua en los canales de Parshall. En el canal de patio se obtuvo una variación del 7% (rango de variación de 1.52% hasta 6.56%) entre las medidas

de diseño y las medidas reales, mientras que en el canal de fábrica se obtuvo una variación de 8% (rango de variación de 1.61% hasta 7.57%), entre las medidas de diseño y las medidas reales. Ambos canales de Parshall se encuentran en el mismo régimen de tamaño de garganta (0.9144m), por lo que la ecuación correcta para utilizar es $Q = 2.184 (Ha)^{1.566}$, validando la exactitud de los resultados proporcionados por estos aforadores durante las zafras en los que estos han sido utilizados.

c. Con el análisis de sumergencia se determinó que los canales de Parshall no exceden el porcentaje de sumergencia permitido (70%) para proporcionar resultados exactos del caudal que corre regularmente por el aforador. Sin embargo, cuando existen flujos de agua provenientes de limpiezas en equipos como evaporadores, tachos, clarificadores, entre otros, se excede este umbral, hasta en un 6.32%.

d. Se validó que la sonda electrónica instalada en el canal de entrada del ingenio proporciona datos confiables para la medición de esta variable, ya que en comparación con el método de alturas y velocidades proporcionó un porcentaje de variación entre mediciones de $1.89 \pm 1.59\%$.

e. Las cuatro metodologías de ensayo (análisis de polarimetría, análisis de HPLC, análisis de caudal en Parshall y análisis de caudal en sonda electrónica) y el procedimiento de muestreo (muestreo en canales de Parshall para determinación de pérdidas) elaborados fueron utilizados para la estandarización del proceso de determinación de pérdidas de azúcar en el ingenio azucarero en estudio.

f. Los tres manuales y tres hojas de cálculo (validación de polarimetría y HPLC, validación de canal de Parshall y validación de sonda electrónica) para validación fueron elaborados para que el ingenio azucarero pudiese emplear estas herramientas en verificación de mediciones de equipos nuevos, ajuste de equipos ya validados.

3. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica.

a. Se identificaron todas las salidas de agua que alimentan el efluente principal de fábrica, en total fueron 49 tuberías las cuales se listaron y ubicaron visualmente en un esquema a vista de planta, detallando el equipo o proceso al cual pertenece cada una de estas.

b. De las 49 tuberías identificadas, 26 tuberías presentaron un caudal activo. De estas 26 tuberías, 4 tuberías presentaron concentraciones positivas de sacarosa. Estas fueron las tuberías 21, 22, 23 y 33. La tubería número 44 no fue posible muestrearla, debido a que en esta se encuentra salida de vapor de los evaporadores de calandria, por seguridad dicha tubería se encuentra sumergida en el efluente.

c. Las pérdidas de sacarosa encontradas a lo largo de la fábrica se encontraron en las tuberías 21, 22, 23 y 33. La tubería número 21 presentó en promedio una pérdida de $2.17 \text{ kg} \pm 0.14 \text{ kg}$ de azúcar al día. La tubería número 22 presentó al día pérdidas en promedio de $188.09 \text{ kg} \pm 6.92 \text{ kg}$, la tubería número 23 un promedio de $2.98 \text{ kg} \pm 0.11 \text{ kg}$ diarios y finalmente la tubería número 33 presentó pérdidas en un único día, equivalente a $11.21 \text{ kg} \pm 0.72 \text{ kg}$ de azúcar.

d. Se propuso una solución en uno de los puntos de pérdida de sacarosa identificados en las tuberías de salida, específicamente en la tubería número 23, drenaje de salida del segundo nivel de refinería, ubicación

de bombas de tanques de tratamiento. La implementación de la solución debe de disminuir las pérdidas diarias en $2.98 \text{ kg} \pm 0.11 \text{ kg}$.

e. Se identificaron más pérdidas indeterminadas de sacarosa dentro de la fábrica, específicamente en bombas de jugo, bombas de magma y en la transportadora de azúcar refino hacía el área de empaque. Estas pérdidas fueron solamente identificadas de forma cualitativa, ya que no se identificaron específicamente los kilogramos de azúcar pérdidas por telada de caña para un día específico de producción.

4. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B de molinos

a. Se determinó que el Tándem B de molinos tiene una pérdida por arrastre de $4,130.82 \text{ kg/día}$ a $7,444.77 \text{ kg/día}$ de azúcar según intervalo de media poblacional. El lavado de conductores de caña (punto B) es la mayor causa de pérdida debido a que puede ser, en promedio, de $2,333.40 \pm 661.27 \text{ kg/día}$ hasta de $8,919.70 \pm 1,561.45 \text{ kg/día}$ de azúcar.

b. La tendencia de las pérdidas en los efluentes de Parshall de patio a lo largo de la zafra, según regresión lineal con ecuación $-0.0053x+2.0071$, fue decreciente, por lo que existe influencia de las acciones tomadas para reducir las pérdidas por arrastre en molienda.

c. Se identificaron fugas en bombas de jugo de caña y de maceración, al realizar cambio de estopas de estos equipos se observó un descenso en las pérdidas por arrastre en punto A de análisis de $7,748.80 \text{ kg}$ a menos de $1,500 \text{ kg}$ de azúcar diaria.

d. Se determinó que la pérdida por mezclado del jugo con el sistema de enfriamiento de chumaceras es de 176.92 kg de azúcar al día.

e. Se determinó que la pérdida en tuberías de recolección de agua de enfriamiento de los molinos 3, 4 y 5 es menor a 10 kg/día , lo cual es insignificante en comparación con las demás pérdidas encontradas ($4,000 \text{ kg/día}$).

f. Al colocar pieza metálica que evita que haya fugas en molino 1 y 2, la pérdida por fuga se redujo de $1598.75 \pm 247.52 \text{ kg}$ a menos de 200 kg de azúcar al día en la tubería de recolección de agua de enfriamiento.

g. La pérdida reportada en Tándem no se redujo en los días 142 y 149 de zafra debido a que las mediciones fueron tomadas minutos después del lavado del área, por lo que, las últimas mediciones contienen pérdida por arrastre con agua de lavado.

h. Se identificó pérdida por arrastre de sacarosa por agua de lavado para retirar restos de caña y bagacillo fuera del área de lavado de conductores (punto C). La pérdida puede ser de $1,228.02 \pm 313.54 \text{ kg/día}$ hasta de $2,446.26 \pm 441.29 \text{ kg/día}$ de azúcar.

i. El intervalo de confianza obtenido indica que, los puntos analizados pueden llegar a tener un impacto del 21.75% al 46.53% en las pérdidas de sacarosa reportadas en los efluentes del medidor Parshall. Esto concuerda con lo esperado debido a que el Tándem B de molinos procesa menor cantidad de caña que el Tándem A.

j. A pesar de tener una alta desviación estándar (cuanto) en los resultados de pérdidas en el Tándem, no se tienen datos atípicos de acuerdo con el diagrama de caja y bigote realizado. Sin embargo, se tiene un rango de $11,193 \text{ kg/día}$, el cual es amplio.

k.El programa de mantenimiento propone que se realicen paradas por mantenimiento de bombas cada 15 días, esto para la corrección de los problemas encontrados en la inspección visual de fugas

5. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña.

a. Se realizó dos esquemas de equipos, uno para los conductores de caña y el siguiente para el Tándem A de molinos, identificando 16 puntos de control que aportaban un flujo mínimo de $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ al canal principal de ambos equipos, para poder realizar mediciones de concentración.

b. Se cuantificó las pérdidas de azúcar en los 16 puntos de control determinando que el Tándem A de molinos y conductores de caña representa entre el 33.1% y el 82% de las pérdidas promedio reportadas en el parshall de patio, con un rango de pérdida de 10,992.14 y 27,207.60 kg/día.

c. De acuerdo a un diagrama de Pareto se determinó que el 80% de las pérdidas se encontraban en 4 canales: el conductor C de conductores de caña y los canales F, E y H del Tándem A de molinos con un rango de pérdida de 9,663.71 y 24,053.63 kg/día.

d. Para reducir las pérdidas de 57.01 kg de azúcar/día generadas por filtraciones de jugo en bombas de maceración, se realizó un cronograma de revisión para el equipo de laboratorio, con el fin de realizar validaciones en fabrica del estado y sugerir ajustes a realizar en tiempos de reparación y mantenimiento.

e. Se preparó un formato para el mantenimiento de bombas, de acuerdo en los reportes que llena el equipo de revisión para llevar un control periódico y hacer mantenimiento preventivo a los equipos.

f. En los 16 puntos de control se encontró las siguientes pérdidas, 652.81 ± 111.10 , 649.93 ± 123.10 y $11,272.93 \pm 1,388.90$ kg de azúcar/día para los canales A, B y C en conductores de caña respectivamente. En el caso de las bombas, la B32 aporta 8.97 ± 0.5 kg/día, la B33 aporta 12.66 ± 65.60 y la B34 genera 30.08 ± 189.6 . En el Tándem A de molinos las pérdidas son encontradas en los puntos, B, C, D, E, F, G, H, I Y J. Estas pérdidas representan en promedio $7,826.94 \pm 313.10$ kg de azúcar/día con una desviación estándar de 2,604.27 kg de azúcar/día.

6. Análisis de costos de las propuestas generadas y estandarización de proceso de costeo y gestión de proyectos.

a. Los diagramas preliminares de las propuestas son de gran utilidad ya que muestran a las autoridades del ingenio una idea visual de que es lo que se quiere implementar.

b. Se determinó un presupuesto de Q32,000.00 para las implementaciones propuestas al ingenio, sin embargo, el impacto que tienen es beneficioso como se observa en el análisis FODA y análisis costo-beneficio realizado en el módulo de Ciencias de la Administración.

c. Según el análisis de costos que se realizó para las cuatro propuestas, se determinó que para obtener el costo total de cualquier implementación similar a las analizadas en el trabajo se deben de tomar 3 factores: Diseño, materiales y mano de obra.

- d. Se utilizaron herramientas como DOP y EDT para estandarizar el proceso de costeo para futuras implementaciones similares en el ingenio azucarero y de esta manera eliminar la variabilidad de ejecución del proceso que actualmente existe.
- e. Para cada etapa del proceso de implementación (Diseño, Materiales y Mano de Obra) se identificó un responsable, el cual es el encargado de brindar la información requerida para seguir con el proceso.
- f. Mediante la matriz de riesgos del proyecto se pudieron prevenir riesgos que pudieron haber afectado al desarrollo del trabajo y ayudo a tener un plan de acción para poder anticiparse y mitigarlos.
- g. La matriz de responsabilidades del proyecto es necesaria para asegurar que cada componente del alcance del proyecto este asignado a un miembro del equipo de trabajo.
- h. El EDT del proyecto es fundamental para poder entender la manera en la que se compone jerárquicamente el proyecto para cumplir con los objetivos del mismo.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Propuestas de mejora en muestreo de jualas de caña
 - a. Reforzar la metodología del muestreo y análisis de la caña de azúcar en laboratorio del ingenio, ya que aspectos como el sello entre el sistema de desfibrado y mezclado presenta resultados distintos para los grados Brix, a pesar de comprobarse que no son significativos, si generan ruido al análisis y a los resultados.
 - b. Utilizar un Core Sampler Oblicuo para mejorar el método de muestreo de la caña, ya que se puede obtener una muestra más representativa de todos los puntos (alto, medio y bajo) de la jaula de caña.
 - c. Establecer una metodología para asegurar obtener resultados diarios de todas las variedades de caña presentes en el ingenio, al igual que, para lograr obtener resultados de todas las fincas del ingenio que permitan mejorar la correlación del resultado del análisis factorial y para poder comparar contra el resultado real de la azúcar recobrada.
 - d. Considerar otras variables como el tipo de corte (mecanizado o manual); el tiempo de quema en el campo, el índice de preparación de la caña en la desfibradora, las horas de insolación, resultados microbiológicos (test de resazurina), entre otras variables, que se puedan analizar estadísticamente para correlacionar el comportamiento contra el resultado de la cantidad de azúcar en la caña y así obtener ecuación que se ajuste mejor a los datos.
 - e. Realizar un análisis factorial para las jaulas de caña provenientes del corte manual y separar los resultados de las muestras década tipo de corte (manual o mecanizado), para poder realizar una mejor aproximación en la corrección promedio del rendimiento de la caña de azúcar y así tener resultados más confiables.
 - f. Utilizar los resultados de la zafra 2018-2019 para analizar si la ecuación obtenida del análisis factorial presenta el mismo comportamiento y se puede utilizar para corregir los resultados de la cantidad de azúcar en las muestras de caña.
 - g. Comenzar a generar un historial de la corrección del resultado del porcentaje de Pol en la caña con los resultados de la zafra 2018-2019 para poder mejorar la correlación de las ecuaciones obtenidas de los análisis de regresión factorial.

2. Validación de métodos analíticos y de laboratorio
 - a. Realizar validaciones de los equipos y canales, utilizando los manuales y hojas de cálculo de validación, como mínimo una vez cada temporada de reparación (posterior a la temporada de zafra), para garantizar resultados correctos de cara a la zafra siguiente y verificar el desgaste de las paredes del aforador de Parshall.
 - b. Realizar un análisis para determinar cómo varía la sumergencia en el canal Parshall de fábrica al momento de tener flujos que provienen de lavados de evaporadores, cristalizadores, entre otros equipos, para determinar la forma en la que la sumergencia se ve afectada directamente por estos y concluir sí al momento en que se den estas operaciones, los canales de Parshall sufren un ahogamiento, por lo que no es correcto tomar mediciones en esos momentos.

c. Utilizar un equipo de medición continua (como una sonda electrónica) para obtener una caracterización de la corriente más apegada a la realidad, debido a que los canales de Parshall son confiables únicamente para la realización de mediciones puntuales de caudal.

d. Hacer una limpieza semanal, como mínimo, en el canal de entrada del ingenio para eliminar arenas, lodos y tierras que puedan afectar directamente al sensor que determina la altura del afluente, y por ende afecta a la medición de caudal proporcionada por la sonda electrónica.

3. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica.

a. Validar la disminución en las pérdidas de azúcar en la tubería número 23, durante la zafra 2018-2019, debido a que la instalación de bandejas debajo de las bombas de tanques de tratamiento fue aplicada durante el tiempo de mantenimiento donde el ingenio azucarero no produce. Lo más adecuado es volver a muestrear el efluente de la tubería número 23 y verificar que no haya presencia de sacarosa.

b. Evaluar las pérdidas que se dan por lavado en los equipos, específicamente en los evaporadores, ya que estas no se cuantificaron en el presente trabajo. Lo más importantes es buscar una forma de disminuir estas pérdidas por lavados, ya que se aumentaría los índices de producción del ingenio.

c. Establecer procedimientos de cómo actuar ante derrames repentinos de sacarosa, ya sea por fuga de bombas, derrames de magma, derrame de azúcar en bandas transportadoras, por ejemplo. Esto para poder llegar a cuantificar la cantidad de sacarosa que se pierde en cada uno de estos derrames y disminuir los impactos que generan estas pérdidas en temas económicos.

4. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B de molinos

a. Monitorear el área de molienda realizando inspecciones visuales del estado de los equipos, como mínimo, una vez a la semana para reducir pérdidas por fugas en el proceso.

b. Realizar un análisis de pérdidas de sacarosa en las mesas de lavado de caña para determinar si es conveniente invertir en un equipo de limpieza de caña en seco debido a que se observó un descenso en las pérdidas de azúcar de la zafra 2017-2018 en comparación con la zafra 2016-2017.

c. Utilizar vertederos en los canales (Punto A y de ser posible punto B de las Figuras 51 y 52) para la medición de caudales, debido a que los restos de bagacillo en el fondo de los canales dificulta la medición de profundidad de estos.

d. Realizar inspecciones visuales y revisiones de fugas en empaque en las bombas de jugo de caña y maceración del Tándem B de manera semanal, esto para reducir las pérdidas en estos equipos.

e. Realizar paradas cortas por mantenimiento cada 15 días, de ser necesario, para realizar cambio de estopas, sustitución de camisa o rectificación del eje. Esto mejorará el rendimiento de estos equipos y reducirá la pérdida que se tiene por fuga en los mismos.

f. Colocar matajuntas y angulares a los lados del conductor de caña para evitar que el bagacillo caiga al canal del punto B analizado y asegurar su recirculación al molino. Esto para evitar que se formen

aglomerados y que la sacarosa restante en el bagacillo termine de disolverse en el canal debajo del lavado de conductores.

- g. Tras la implementación de matajuntas y angulares a los lados del conductor de caña, continuar con el análisis semanal de pérdida de sacarosa en este punto para determinar si existe una reducción significativa en las pérdidas en comparación con lo obtenido en el presente trabajo.
5. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña.
 - a. Para futuras investigaciones se recomienda realizar mediciones del mismo punto de control en distintos horarios durante el mismo día, para determinar si existe variación en base a la hora del estudio.
 - b. Se sugiere utilizar un equipo de medición de caudales automático para poder validar los cálculos por área y velocidad utilizados en este proyecto
 - c. Para disminuir las pérdidas en el sedimentador de cribas, se sugiere colocar un tope de 4 cm de alto en la luz del equipo, para poder reducir la cantidad de jugo mezclado que cae al canal principal
 - d. Para disminuir la cantidad de bagacillo que se filtra en los conductores de tablillas en el patio de caña, se deben colocar pequeñas paredes por tablilla en los conductores que reduzcan la cantidad de bagacillo filtrado por los laterales del equipo que son lavados durante el proceso.
 - e. Debido a los cambios realizados durante la zafra en bombas, como cambio de estopas en todas las bombas, camisa y ajuste de engranajes que no disminuyeron las filtraciones de jugo, se sugiere un cambio de eje central de bomba B34.
 - f. Para futuras practicas se debe medir durante todas las visitas de campo, la cantidad de sacarosa presente en la salida de los conductores de caña y Tándem A de molinos, y comparar los resultados diarios de las mediciones de cada equipo con el total reportado diariamente en la salida de los equipos antes mencionados.
 6. Análisis de costos de las propuestas generadas y estandarización de proceso de costeo y gestión de proyectos.
 - a. Usar un método de tiempos predeterminados para comprobar la objetividad de los tiempos de implementación propuesta por la mano de obra asignada.
 - b. Se recomienda seguir el proceso estandarizado de obtención de costos propuesto para futuras implementaciones en el ingenio para tener un mejor flujo en el proceso.
 - c. Es recomendable tomar en cuenta el ejemplo de cada etapa que se presenta en la guía del proceso de costeo para la implementación de futuras propuestas.
 - d. Tener reuniones a cierto ritmo con los asesores del proyecto para poder llevar un mejor seguimiento del trabajo.
 - e. Realizar planes de acción en caso las propuestas se lleguen a implementar y no tengan el resultado esperado.
 - f. Incluir implementaciones que impliquen una inversión para el ingenio dentro de la metodología estándar propuesta en el presente trabajo.

7. Análisis de rentabilidad y viabilidad con base en las propuestas realizadas al ingenio
 - a. Se recomienda, para futuras implementaciones dentro del ingenio, tomar en cuenta la actualización del tipo de cambio GTQ – USD y el precio de la libra de azúcar en el mercado internacional.
 - b. Para la realización del análisis de rentabilidad y viabilidad, se recomienda tomar en cuenta aspectos económicos como la depreciación del equipo, el tiempo de vida útil y otros costos incurridos en la operación cuando se trate de implementar nueva maquinaria o la construcción de una nueva área dentro de la fábrica.

IX BIBLIOGRAFÍA

ACRA Corporation. *Las pérdidas de azúcar son dinero*. Reporte técnico. Miami: ACRA, 1986.

Agroindustria. Agroindustria en Guatemala. 2013 <http://www.santaana.com.gt/agroindustria.html> Fecha de consulta: 21/04/2018

Análisis de rentabilidad. 2016. En <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/cag2/6.htm> Fecha de consulta: 25/4/2018

Análisis de Viabilidad y sus partes. En <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/09/el-estudio-de-la-viabilidad-de-los-proyectos/> Fecha de consulta: 25/4/2018.

Asadi, M. (2007). *Beet-Sugar Handbook*. New Jersey: Wiley-Interscience. 823 pp.

Asociación Bancaria de Guatemala. 2017. En <http://abg.org.gt/web2014/wp-content/uploads/2014/09/SECTOR-2-AZUCAR-SEPTIEMBRE-2014.pdf> Fecha de consulta: 24/9/2018

ASAZGUA. 2008. *Historia del azúcar en Guatemala*. En: <http://www.azucar.com.gt/historia/> Fecha de consulta: 20/04/2018

ASAZGUA. 2018. *El azúcar de Guatemala en el mundo*. En <http://www.azucar.com.gt/azucar-de-guatemala-en-el-mundo/>. Fecha de consulta: 15/04/2018

Banco Central de Guatemala. 2005. En <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=info/historica> Fecha de consulta: 5/10/2018

Banco Central de Guatemala, Tasa de Interés líder. En https://www.banguat.gob.gt/Publica/Prensa/boletin_tasa_int290818.pdf Fecha de consulta: 12/10/2018

Banco de la República de Colombia. (2015). *Precio promedio mensual azúcar crudo-primer posición - Nueva York Contrato N° 11 – USD cents/lb*. En: <http://www.banrep.gov.co>. Fecha de consulta: 5/09/2018

Benjumea Acevedo, J., Fernández Ternero, D., Márquez García, M. C., Núñez Valdés, J., & Vilches Alarcón, J. (2006). *Matemáticas Avanzadas y Estadística para Ciencias e Ingenierías*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

CALERO, L., *et al.* *Factores que inciden en las pérdidas indeterminadas del proceso de elaboración de azúcar. Técnicaña* (Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar). VIII Congreso. Memorias. Cali: 2009.

Candela Gómez C. Milla Palma S. 2001. *Libro blanco de azúcar*. Instituto de Estudios Documentales del Azúcar. Madrid
Editorial: EDIM

Cannavam, T. C., & Cunali, M. L. (2015). *Stalk Harvesting Systems*. En F. Santos, Sugarcane Agricultural Production, Bioenergy, and Ethanol (págs. 205-239). Sao Paulo: Elsevier.

CENGICAÑA. 2015. *Análisis de traza cuantitativa mediante polarimetría*. Versión 1. CENGICAÑA, Guatemala. 3 páginas.

CENGICAÑA. (2016). *Guía para la determinación de pol en caña*. Guatemala, Guatemala: Comité de Estandarización y Normailzación.

Chen, J. (2000). *Manueal del azúcar de caña*. México: Editorial Limusa.

Chicharro, M. *Cromatografía, principios y aplicaciones. Ciencia y tecnología de los alimentos*. En: <https://www.scribd.com/doc/19050563/Cromatografia-Principios-y-Aplicaciones>. Fecha de consulta: 30/07/18

DEGUATE. *Producción del azúcar*. En:<http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml> Fecha de consulta: 21/04/2018

Fernández, S. (2011). Universidad Autónoma de Madrid. Obtenido de <http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/FACTORIAL/analisis-factorial.pdf>

Gestiopolis, 2016. En <https://www.gestiopolis.com/que-es-el-tipo-de-cambio/>

Fecha de consulta: 9/10/2018

GP. (Mayo de 2006). *Goulds Pumps. Obtenido de Installation, Operation and Maintenance Instruction*: <https://www.gouldspumps.com>

ICUMSA. 2017. *Methods book*. 10th edition. Bartens.

Ingeniería de la caña de azúcar. 2012.

Hugot E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. 3ra edición. Francia: Editorial ELSEVIER.

Larrahondo, J. E. (1995). *Calidad de la Caña de Azúcar*. Cali, Colombia: CENICAÑA.

López, B. (17 de Octubre de 2016). *Pérdidas de azúcar por lavado de caña en ingenios guatemaltecos durante zafra 2015-2016*. *Atagua*. Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, 13-16. Obtenido de ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/309202168_PERDIDAS_DE_AZUCAR_POR_LAVADO_DE_CANA_EN_INGENIOS_GUATEMALTECOS?enrichId=rgreq-641111f6b8c01597221a2596842effc9-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwOTIwMjE2ODtBUzo0MTgxODc3ODQwMTU4NzJAMTQ3NjcxNTE0NTE1Mw%3D%3

Meade, G. 1963. *Manual del Azúcar de Caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. 9 Ed. Barcelona: Montaner y Simon S.A.

MINITAB. (2017). Soporte Minitab. *Obtenido de Gráficas de efectos para Analizar diseño de superficie de respuesta*: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/how-to/response-surface/analyze-response-surface-design/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/effects-plots/>

Monzón, O. (2017). *Pérdidas indeterminadas en el proceso agroindustrial azucarero*. Obtenido de *Atagua*: https://www.atagua.org/presentaciones/XIVCongresoNacional2017/fabrica/perdidas_indeterminada_o_monzon.pdf

Morales, J. (2011). *Propuesta para la planificación y programación del mantenimiento a través de indicadores en el ingenio La Unión S. A. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala*. 175 pp.

Pedroza, E. 2001. Canal Parshall. Primera edición. CNA México. 36 páginas.

Proceso de comercialización. 2013 <http://www.launion.com.gt/procesos-comercializacion.html> Fecha de consulta: 24/04/2018.

RAMOS, A. *Pérdidas indeterminadas en el proceso de elaboración del azúcar de caña*. Técnicaña (Capacitación técnica para la Agroindustria Azucarera), Volumen 6, Revista No. 12. Colombia: 2002.

Rein, Peter. 2012. *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. Berlín: Verlag Dr. Albert Bartens KG. 879 páginas.

Romero, R. (2009). Manual del Cañero (1ª edición ed.). Tucuman, Argentina: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes.

Ruiz, F. S. (1995). *Cultivo de la Caña de Azúcar* (1ª edición ed.). San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Sánchez y Bárcena. 2007. *El azúcar en la enseñanza*. Real sociedad española de química. En: www.rseq.com. Fecha de consulta: 30/07/18

Skoog. 2015. *Fundamentos de química analítica*. Cengage Learning. 1048 páginas.

SugarOnline. (2016). *Precio promedio mensual azúcar crudo-primera posición - Nueva York Contrato N° 11 – USD cents/lb*. En: <http://www.sugaronline.com>
Fecha de consulta: 4/09/2018.

Trujillo, C. (2014). *Determinación de pérdidas de sacarosa en agua de lavado en el ingenio Riopaila - Castilla S.A.* . Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Universidad Católica de Chile. 2016. En <http://hрудnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/viento/18.html>
Fecha de consulta: 26/4/2018.

Vargas, A. (1995). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Murcia: Universidad de Castilla - La Mancha.

Viejo, M. (2000). *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México D.F. : Segunda edición. Editorial Limusa, S.A. 271 pp.

X ANEXOS

1. Propuestas de mejora en muestreo de jaulas de caña

Figura No.73. Metodología para la elaboración del análisis factorial en el Software Minitab.

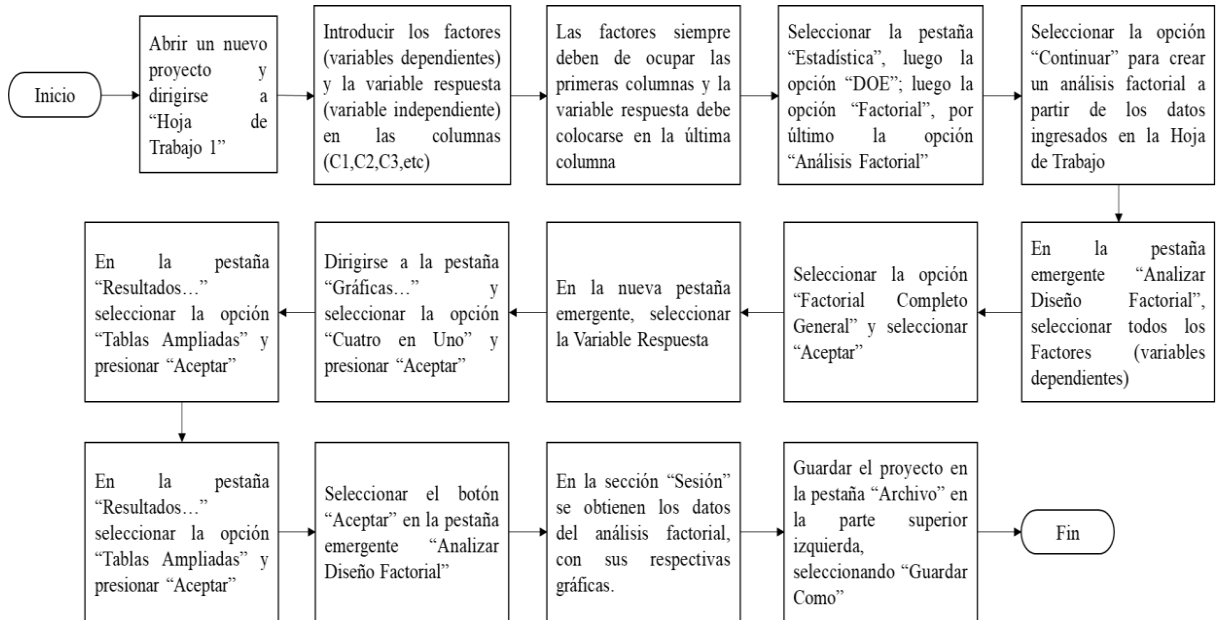


Figura 74. Metodología para limpiar el análisis factorial, deseleccionando los factores que no influyen en la variable y las interacciones entre factores que tampoco son significativos.

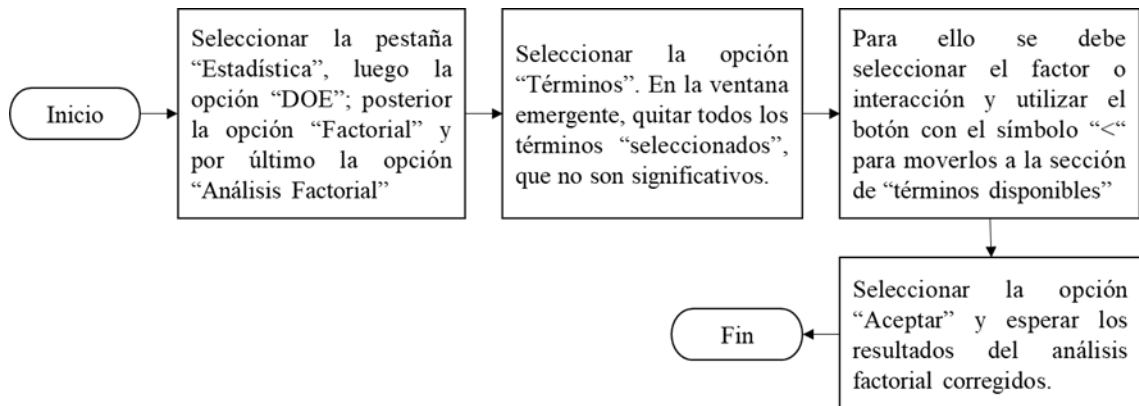
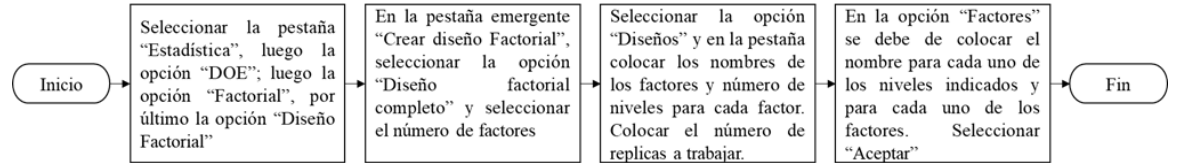


Figura No.75 Metodología para realizar un diseño factorial en Minitab.



Cuadro No.88. Ejemplo de la recopilación de datos y variables durante el muestreo de jaulas de caña de azúcar para las fechas del 18 de febrero al 20 de marzo de 2018

FECHA	Envío de Caña	Día Zafra	Brix Alzadora	Peso a Torta Húmeda Alzadora	Pu/OC Core Tempier	Brix Core Argo	PESO TORTA Core	Pu/OC Azúcar	Diferencia % POC en caña	Variedad	Finca	Pante	Distancia (km)	Tiempo de queema (h)	Tiempo entre cosecha y muestreo (h)	Tiempo entre cosecha y muestreo (h)	Tiempo entre cosecha y muestreo (h)	Tiempo de Envío	Humedad Promedio (%)	Temperatura Promedio (°C)
18/02/2018	2800208	96	28.69	148.50	1120	15.02	1.30	11.96	0.34	CP72-2086	1820	20	31.2	13.08333	14.4	4.7427778	5	35.69	40	28.23
18/02/2018	28002184	96	21.08	129.80	1518	21.28	186.8	15.30	0.08	CP72-2086	1104	202	106	11.86667	12.8	6.3263889	7	35.04	40	28.23
18/02/2018	28002182	96	20.46	135.60	1562	21.25	156.1	14.77	0.28	CP72-2086	1104	202	106	13.61667	14.6	6.6833333	7	34.42	40	28.23
18/02/2018	28002040	96	27.78	142.60	1199	17.21	134.9	12.37	0.42	CO88-78	1820	31	31.2	2.9866667	3.1	1.3416667	2	35.69	40	28.23
18/02/2018	28002280	96	28.25	158.90	1461	19.88	150.2	14.19	0.42	CP72-2086	1344	121	30	8.45	4.14	14.3611111	15	36.32	40	28.23
18/02/2018	28002105	97	28.07	152.00	1128	19.21	154.1	12.88	0.60	CP72-2086	1820	30	31.2	9.85	10.7	7.6133333	8	40.98	35	27.2
18/02/2018	28002170	97	20.49	147.70	1500	20.48	154.2	15.01	<0.01	CP72-2086	1106	115	108	8.45	9.7	7.7866667	8	34.61	35	27.2
18/02/2018	28002108	97	28.97	142.20	1190	18.6	150.1	12.10	0.80	CP72-2086	1820	30	31.2	11.1	12.8	3.3827778	9	33.39	35	27.2
18/02/2018	28002175	97	20.75	142.70	1535	20.94	148.3	15.36	<0.01	CP72-2086	1106	117	108	9.38333	10.8	9.2813889	9	40.03	35	27.2
18/02/2018	28002107	97	28.05	151.30	1115	19.86	156.6	12.42	0.78	CP72-2086	1820	30	31.2	10.15	11.9	3.8805556	10	34.57	35	27.2
20/02/2018	28002180	98	28.95	139.30	1496	19.98	142.1	15.00	<0.04	CP72-2086	1106	120	108	7.4866667	8.8	8.5805556	9	39	43	27.35
20/02/2018	28002482	98	28.88	136.20	1276	17.38	141.8	12.07	0.88	CO88-78	1313	1	42.6	10.81667	11.5	11.0511111	6	37.42	48	27.35
20/02/2018	28002186	98	28.76	130.70	1484	20.07	146.1	14.30	0.34	CO88-78	1111	206	21.6	9.2866667	10.7	7.3205556	8	48.24	43	27.35
20/02/2018	28002472	98	28.39	148.10	1224	16.97	138	11.76	0.48	CO88-78	1313	2	42.6	13.1	14.5	11.1844444	6	38.12	43	27.35
20/02/2018	28002184	98	28.44	151.00	1443	19.81	151.9	14.00	0.48	CP72-2086	1106	120	108	8.15	9.13	13.80556	14	48.85	40.5	28.2
21/02/2018	28002142	99	27.58	150.40	1169	18.1	152.1	12.17	0.52	VARIAS	1334	3	41.5	13.86667	14.4	4.0781111	5	38.08	40.5	28.2
21/02/2018	28002238	99	28.03	148.30	1185	18.48	154.3	12.33	0.52	CP72-2086	1415	5	47.2	12.35	13	4.03	5	45.3	40.5	28.2
21/02/2018	28002446	99	28.86	154.20	1509	21.51	158.7	14.75	0.28	CP72-2086	1106	118	108	11.85	12.7	7.3472222	11	34.19	40.5	28.2
21/02/2018	28002248	99	28.87	148.80	1219	17.08	154.5	11.85	0.38	CP72-2086	1415	5	47.2	16.33333	17.3	3.6833333	4	39.04	40.5	28.2
21/02/2018	28002436	99	28.65	144.10	1516	21.48	144.8	14.66	0.70	CP72-2086	1106	118	108	15.5	16.6	6.8816667	7	38.44	34.5	27.35
21/02/2018	28002120	100	28.71	150.20	1197	18.82	153.3	13.83	0.34	CO88-78	1106	304	108	8.6	9.7	5.5722222	8	33.8	34.5	27.35
21/02/2018	28002398	100	28.13	138.00	1551	20.38	138.3	15.30	0.21	CO88-78	1334	218	33.6	17.78333	18.3	7.8527778	4	37.51	34.5	27.35
22/02/2018	28002529	100	28.72	148.70	1401	19.84	138	13.80	0.21	CO88-78	1106	304	108	10.83333	11.6	8.3005556	7	41.19	34.5	27.35
22/02/2018	28002528	100	28.77	148.90	1429	19.04	148.1	13.95	0.34	CP72-2086	1338	3	30	12.86667	13.6	6.2422222	7	37.15	34.5	27.35
22/02/2018	28002338	100	28.12	142.70	1485	20.38	147.5	14.68	0.27	CO88-78	1334	218	33.6	19.83333	20.5	5.2151111	6	37.28	34.5	27.35
23/02/2018	28002382	101	28.09	130.80	1485	20.28	144.8	14.05	0.78	CP72-2086	1113	108	35.9	10.2	11.5	2.2305556	6	38.64	42.5	28.05
23/02/2018	28002625	101	28.86	152.30	1417	19.42	134	13.84	0.38	CO88-78	1106	108	108	9.13333	10.6	8.0844444	7	38.65	42.5	28.05
23/02/2018	28002387	101	28.29	148.70	1467	19.87	147.4	13.88	0.88	CP72-2086	1113	208	35.9	11.81667	12.4	4.8277778	5	38.16	42.5	28.05
23/02/2018	28002398	101	28.38	144.10	1445	19.98	138.1	13.88	0.58	CO88-78	1113	108	35.9	17	18.4	7.4444444	5	38.27	42.5	28.05
23/02/2018	28002488	101	28.90	138.40	1479	20.3	145.8	14.15	0.64	CO88-78	1106	101	108	8.2	17	6.02222	7	38.48	42.5	28.05
24/02/2018	28002725	102	28.70	140.30	1587	20.3	141.2	15.33	0.33	CO88-78	1106	108	108	10.81667	11.6	6.0833333	7	34.56	36	28.95
24/02/2018	28002472	102	28.36	138.40	1161	16.48	146.9	11.68	<0.07	CP72-2086	1113	308	35.9	11.83333	12.5	4.2805556	6	48.73	56	28.95
24/02/2018	28002808	102	28.26	140.60	1181	18.87	138.6	13.23	0.38	CP72-2086	1344	131	30	12.75	13.5	7.0444444	6	38.83	56	28.95
24/02/2018	28002480	102	28.66	136.80	1163	16.78	158.9	11.27	0.36	CP72-2086	1113	308	35.9	14.35	15.4	4.9233333	5	38.77	56	28.95
25/02/2018	28002320	103	28.12	180.10	1169	18.04	152.3	10.50	1.18	SP72-8161	1113	302	35.9	14.38333	15	5.68	6	40.2	50.5	28.1
25/02/2018	28002328	103	28.74	138.40	1119	17.02	133.5	12.04	0.18	CP88-1180	1106	208	108	11.33333	12.1	10.8622222	11	34.16	50.5	28.1
25/02/2018	28002334	103	27.00	142.50	1213	17.45	130	11.75	0.38	SP72-8161	1113	302	35.9	16.46667	17.6	6.2277778	7	34.2	50.5	28.1
25/02/2018	28002828	103	28.13	138.90	1420	18.34	140.2	13.87	0.28	CP88-1180	1106	208	108	12.85	13.10	10.0055556	11	34.25	50.5	28.1
25/02/2018	28002830	103	27.51	138.00	1128	17.96	142.8	11.75	0.58	CP88-1180	1106	208	108	14.03333	15.9	5.9872222	10	39.46	50.5	28.1
26/02/2018	28002912	104	28.11	170.40	1488	20.88	174.2	14.34	0.44	CP72-2086	1106	208	108	10.25	11.6	6.8861111	7	38.19	44.5	27.85

Cuadro No.89. Resumen de los rangos utilizados para los factores temperatura promedio, humedad promedio, tiempo entre corte y muestreo y distancia de viaje.

Rangos de tiempo entre cosecha y muestreo			Rangos de Temperatura			Rangos de distancia entre finca e ingenio			Rangos de Humedad		
No.	Min (h)	Max (h)	No.	Min (°C)	Max (°C)	No.	Min (km)	Max (km)	No.	Min (%)	Max (%)
1	1.01	2.68	1	26.10	26.62	1	33.30	52.35	1	34.0	38.4
2	2.68	4.34	2	26.63	27.15	2	52.35	71.40	2	38.4	42.8
3	4.34	6.01	3	27.15	27.68	3	71.40	90.45	3	42.8	47.2
4	6.01	7.68	4	27.68	28.20	4	90.45	109.50	4	47.2	51.6
5	7.68	9.35	5	28.20	28.73				5	51.6	56.0
6	9.35	11.02									
7	11.02	12.69									
8	12.69	14.36									

Figura No.76. Ejemplo del análisis factorial entregado por Minitab en las pruebas realizadas.

Regresión factorial general: %Pol en caña vs. Metodo, Desfibradora

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Metodo	2	con sello, sin sello
Desfibradora	2	1, 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	5.035	1.67819	1.34	0.260
Lineal	2	4.946	2.47305	1.98	0.139
Metodo	1	3.045	3.04504	2.44	0.119
Desfibradora	1	1.901	1.90106	1.52	0.218
Interacciones de 2 términos	1	0.057	0.05747	0.05	0.830
Metodo*Desfibradora	1	0.057	0.05747	0.05	0.830
Error	360	449.320	1.24811		
Total	363	454.355			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.11719	1.11%	0.28%	0.00%

Coeeficientes

Término	Coef	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		Coef.	coef.			
Constante	14.7472	0.0586	251.71	0.000		
Metodo con sello	-0.0915	0.0586	-1.56	0.119	1.00	
Desfibradora 1	-0.0723	0.0586	-1.23	0.218	1.00	
Metodo*Desfibradora con sello 1	-0.0126	0.0586	-0.21	0.830	1.00	

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned} \%Pol \text{ en caña} = & 14.7472 - 0.0915 \text{ Metodo_con sello} + 0.0915 \text{ Metodo_sin sello} \\ & - 0.0723 \text{ Desfibradora_1} + 0.0723 \text{ Desfibradora_2} \\ & - 0.0126 \text{ Metodo*Desfibradora_con sello 1} + 0.0126 \text{ Metodo*Desfibradora_con} \\ & \text{sello 2} + 0.0126 \text{ Metodo*Desfibradora_sin sello 1} \\ & - 0.0126 \text{ Metodo*Desfibradora_sin sello 2} \end{aligned}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	%Pol en caña	Ajuste	Resid	Resid est.
36	12.142	14.571	-2.429	-2.19 R
41	12.147	14.571	-2.423	-2.18 R
55	17.288	14.741	2.548	2.29 R
67	11.807	14.741	-2.934	-2.64 R
69	11.098	14.741	-3.642	-3.28 R
70	12.047	14.741	-2.694	-2.42 R
164	12.131	14.571	-2.440	-2.20 R
173	17.002	14.741	2.262	2.04 R
223	12.528	14.779	-2.251	-2.03 R
237	17.406	14.898	2.508	2.26 R
249	11.950	14.898	-2.949	-2.65 R
251	11.221	14.898	-3.678	-3.31 R
252	12.151	14.898	-2.748	-2.47 R
346	12.342	14.779	-2.437	-2.19 R
355	17.215	14.898	2.316	2.09 R

Residuo grande R

Pareto de los efectos para %Pol en caña

Gráficas de residuos para %Pol en caña

Cuadro No.90. Resumen de resultados de los análisis factoriales con sus respectivos factores, niveles y resultados del valor p y la regresión ajustada.

Análisis de diseño factorial					
Análisis	Factores	Niveles	Valor p	Respuesta	R² (ajustado)
1	(A) Método de Desfibrado	Con sello y sin sello	0.119	Pol%C	0.28%
	(B) Número de Desfibradora	1 y 2	0.218		
	Interacción AB	-	0.83		
2	(A) Variedad	CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS	0	Pol%C	21.64%
	(B) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.001		
3	(A) Variedad	CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS	0	F%C	10.57%
	(B) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.07		
4	(A) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.002	Pol%C	7.54%
	(B) Rango de temperatura	1, 2, 3, 4, 5 y 6	0.001		
5	(A) Variedad	CG00-033; CG00-102; CG02-163; CG98-10; CG98-46; CG98-78; CP72-2086; CP73-1547; CP88-1165; SP71-6161; VARIAS	0	Pol%C	23.41%
	(B) Rango de temperatura	1, 2, 3, 4, 5 y 6	0		
6	(A) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.002	Pol%C	5.48%
	(B) Rango de humedad	1, 2, 3, 4 y 5	0.014		
7	(A) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.002	Pol%C	6.72%
	(B) Rangos de tiempo entre cosecha y muestreo	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8	0.007		
8	(A) Método de muestreo	Core Sampler y alzadora	0.001	Pol%C	12.82%
	(B) Rangos de distancia	1, 2, 3 y 4	0		
9	(A) Variedad	CG00-033, CG00-102, CG01-53, CG02-163, CG03-098, CG03-104, CG96-135, CG98-10, CG98-46, CG98-78, CP72-2086, CP73-1547, CP88-1165, CP88-1508, MEX79-431, PR75-2002, RB73-2577, RB84-5210, SP71-6161, SP79-1287, VARIAS	0	Pol%C	12.06%
	(B) Tipo de corte	Mecanizado y Manual	0		

Figura No. 77. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 1 entre los factores método de desfibrado y número de desfibradora, comparado contra el Pol%C como respuesta.

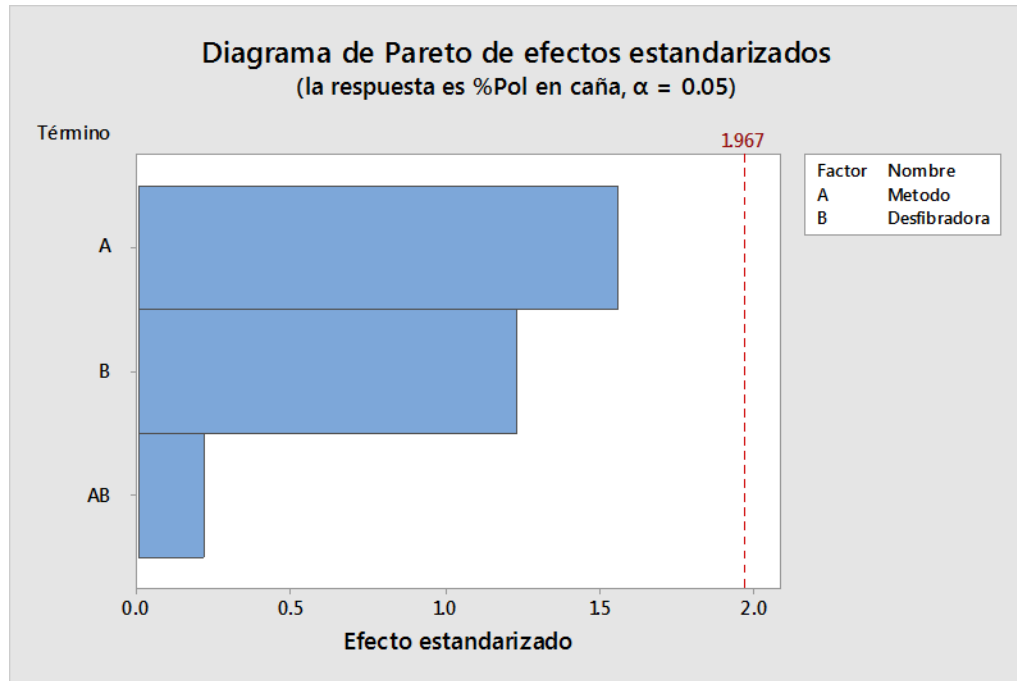


Figura No. 78. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 2 entre los factores variedad de caña de azúcar y método de muestreo, comparado contra el Pol%C como respuesta.

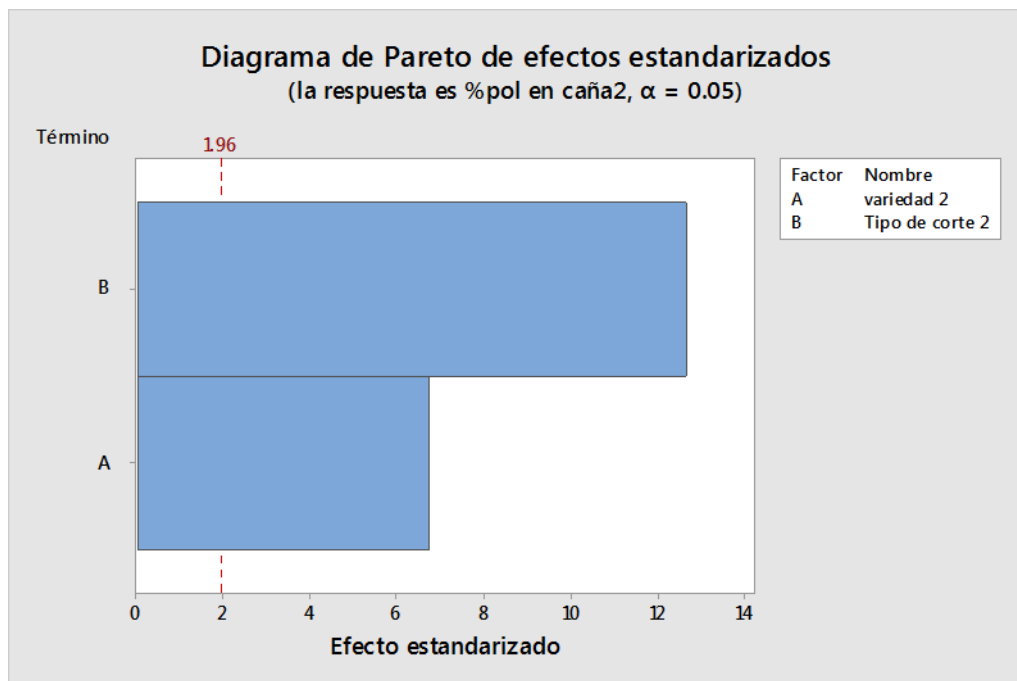


Figura No. 79. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 3 entre los factores variedad de caña de azúcar y método de muestreo, comparado contra el porcentaje de fibra de caña (F%C) como respuesta.

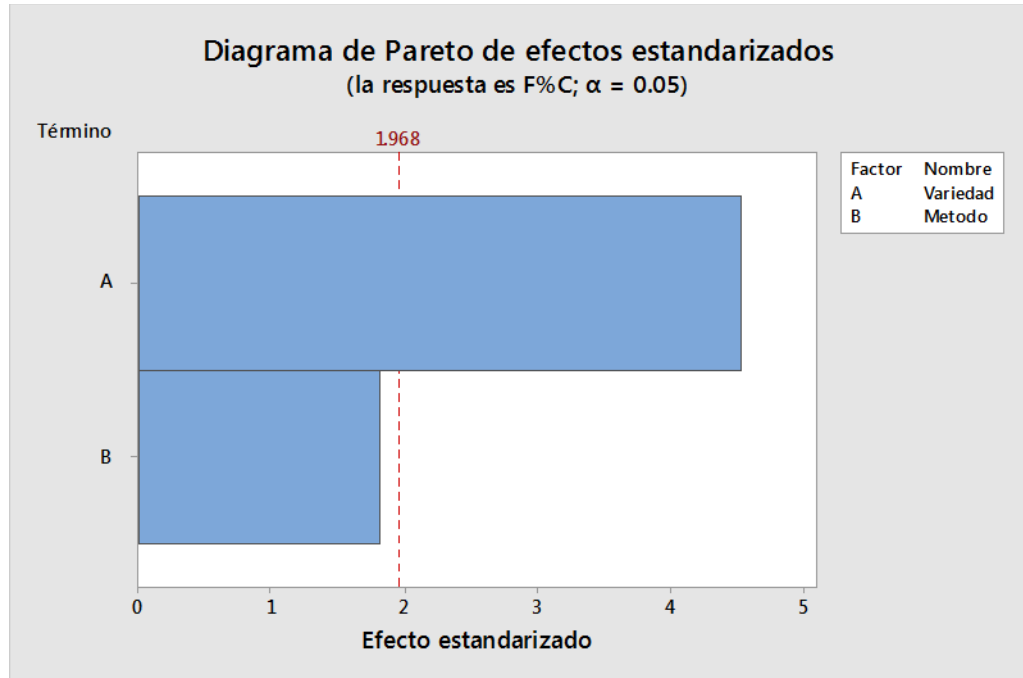


Figura No. 80. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 4 entre los factores método de muestreo y rango de temperaturas, comparado contra el Pol%C como respuesta.

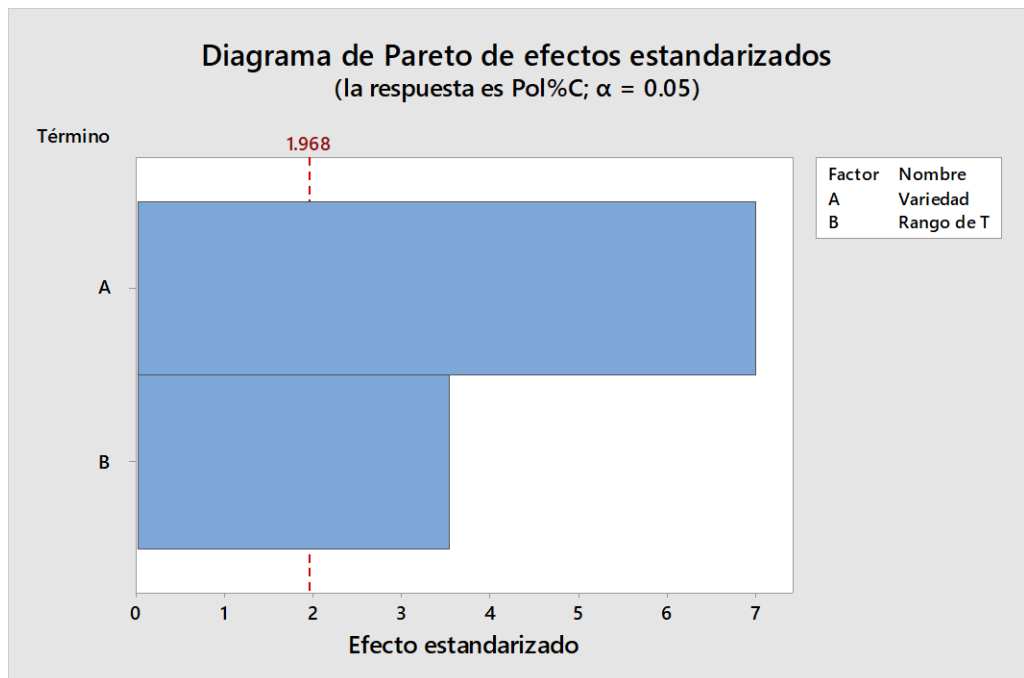


Figura No. 81. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 5 entre los factores variedad de caña de azúcar y rango de temperaturas promedio, comparado contra el Pol%C como respuesta.

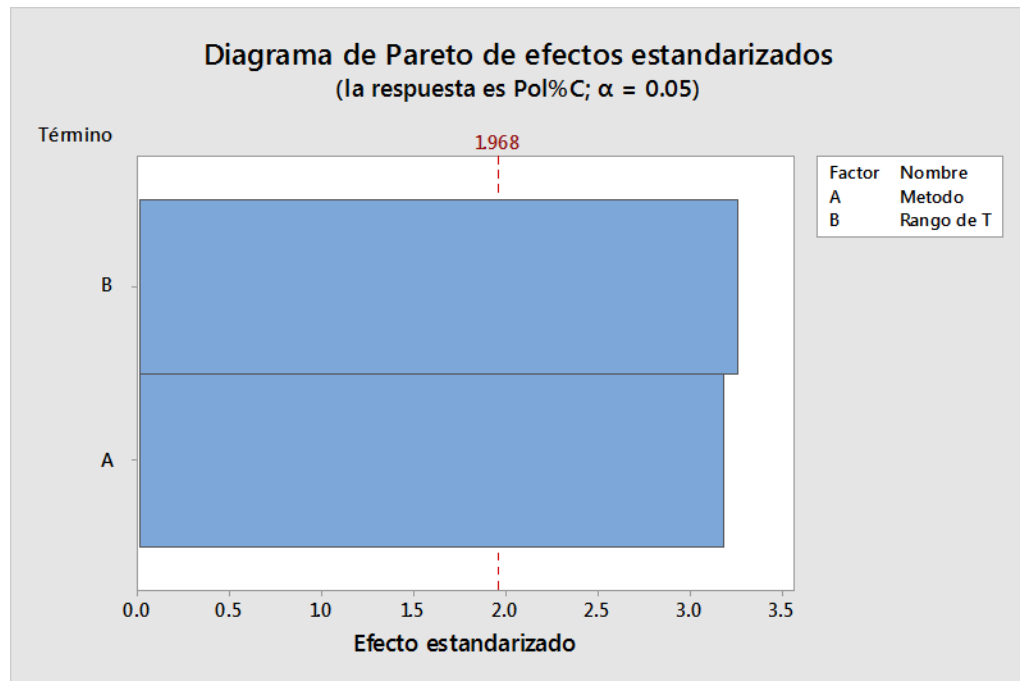


Figura No. 82. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 6 entre los factores Método de muestreo y rango de humedad promedio, comparado contra el Pol%C como respuesta.

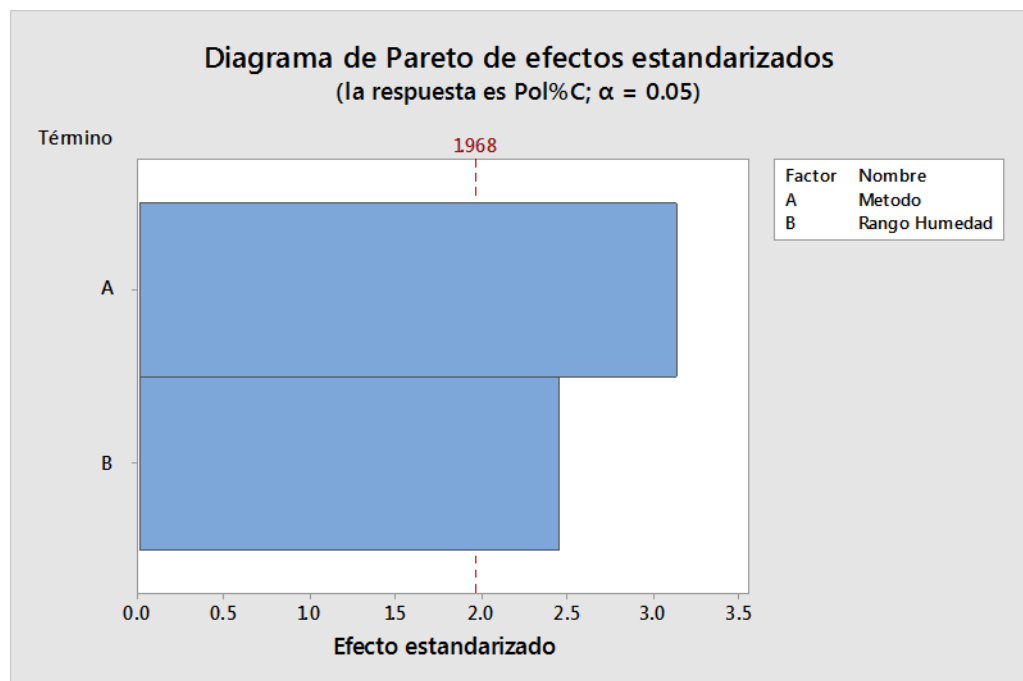


Figura No. 83. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 7 entre los factores método de muestreo y rango de tiempos entre cosecha y muestreo, comparado contra el Pol%C como respuesta.

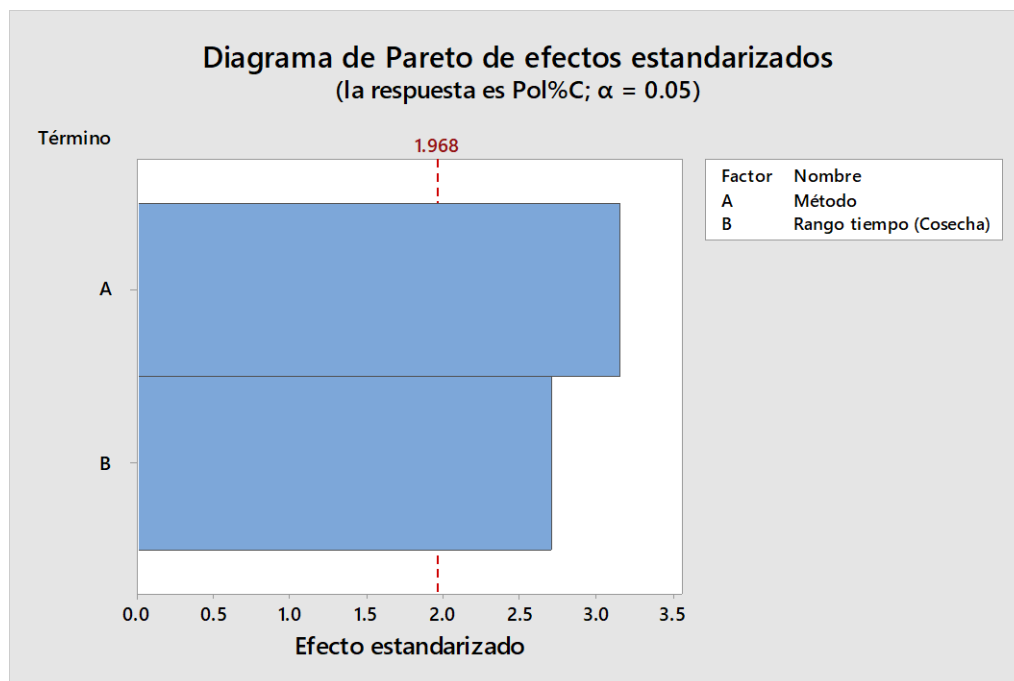


Figura No. 84. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 8 entre los factores método de muestreo y rango de distancia de viaje, comparado contra el Pol%C como respuesta.

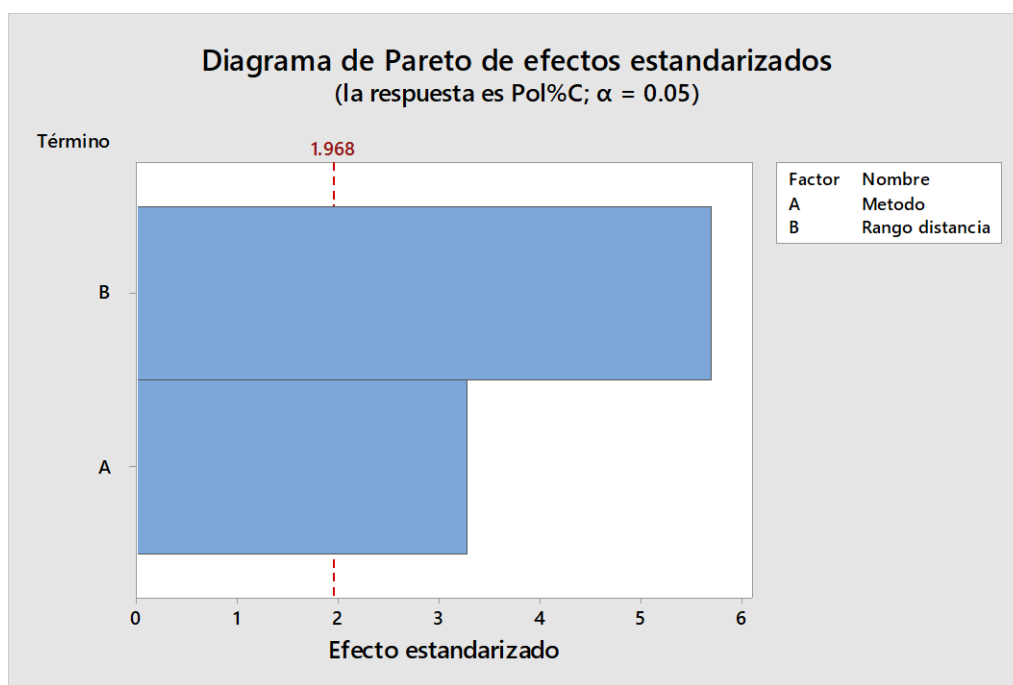


Figura No. 85. Diagrama de Pareto obtenido del análisis factorial no. 9 entre los factores variedad de corte y tipo de corte de la caña para todas las muestras entre el 18 de marzo y 20 de febrero de 2018, comparado contra el Pol%C como respuesta.

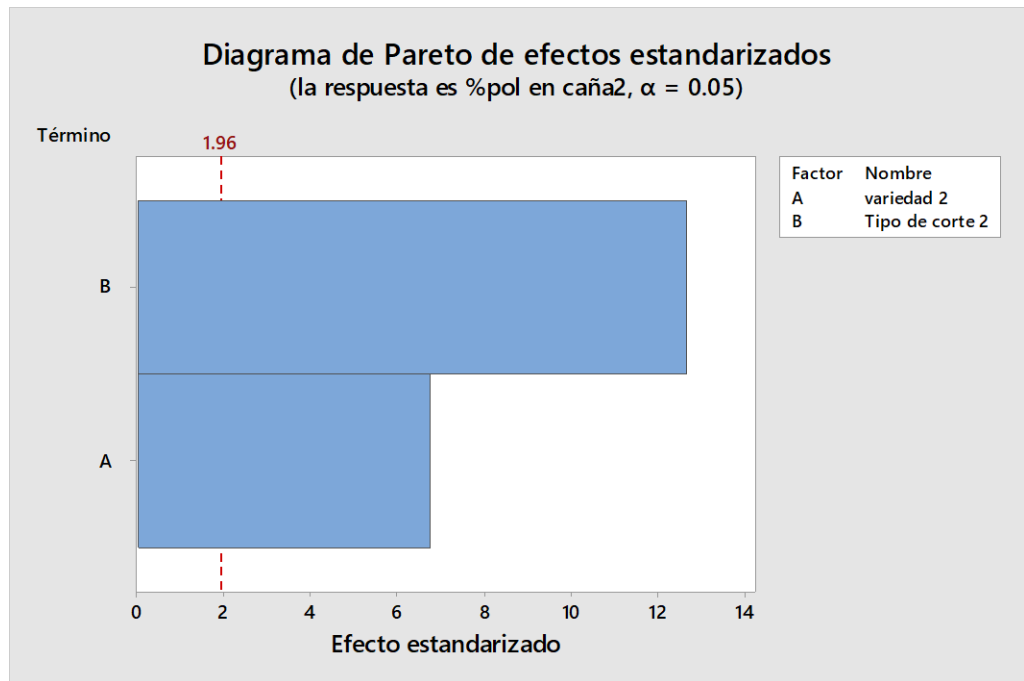


Figura No. 86. Resultado del Diseño experimental para la variedad y tipo de muestreo partiendo de dos réplicas.

Diseño factorial de múltiples niveles

Resumen del diseño

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	22	Total de corridas:	44
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 11; 2

Tabla de diseño (aleatorizada)

Corrida	Blq	A	B
1	1	8	2
2	1	3	2
3	1	5	2
4	1	10	2
5	1	9	2
6	1	5	2
7	1	5	1
8	1	8	1
9	1	6	2
10	1	8	2
11	1	9	1
12	1	11	2
13	1	10	1
14	1	6	2
15	1	6	1
16	1	8	1
17	1	7	2
18	1	9	2
19	1	3	1
20	1	1	1
21	1	5	1
22	1	7	2
23	1	1	2
24	1	9	1
25	1	7	1
26	1	11	1
27	1	2	2
28	1	2	1
29	1	1	1
30	1	4	1
31	1	3	2
32	1	11	1
33	1	10	1
34	1	4	1
35	1	11	2
36	1	2	1
37	1	2	2
38	1	4	2
39	1	4	2
40	1	7	1
41	1	1	2
42	1	3	1
43	1	6	1
44	1	10	2

Figura No. 87. Diagrama de Pareto para el análisis factorial de las variables identificadas como críticas, previo a la realización de la limpieza de interacción entre factores.

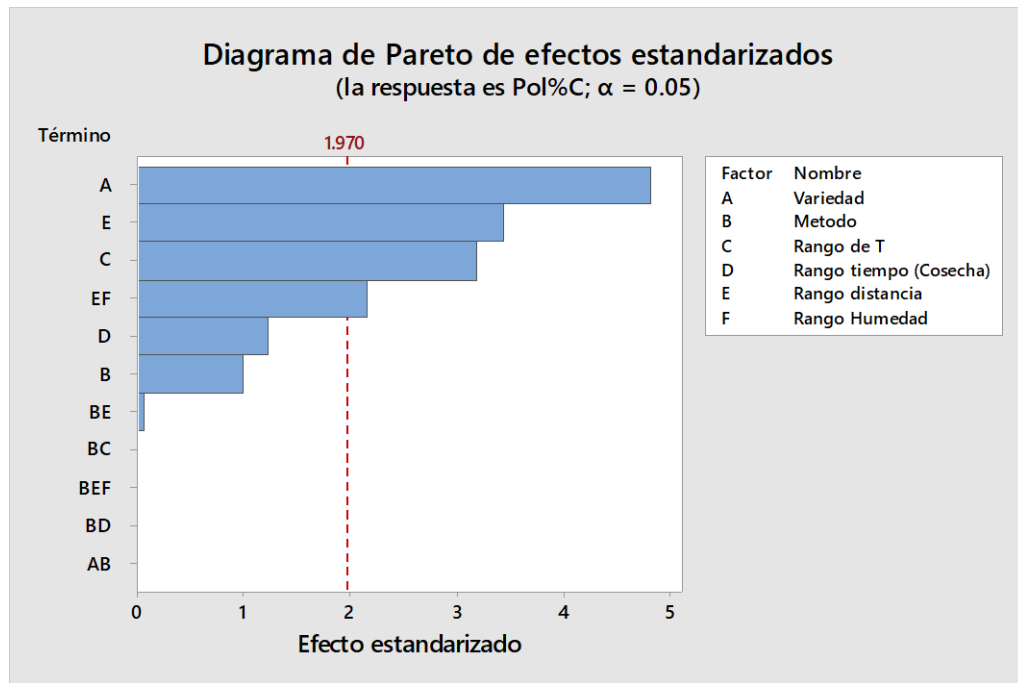


Figura No. 88. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Porcentaje de Pol en caña obtenido del Software Minitab.

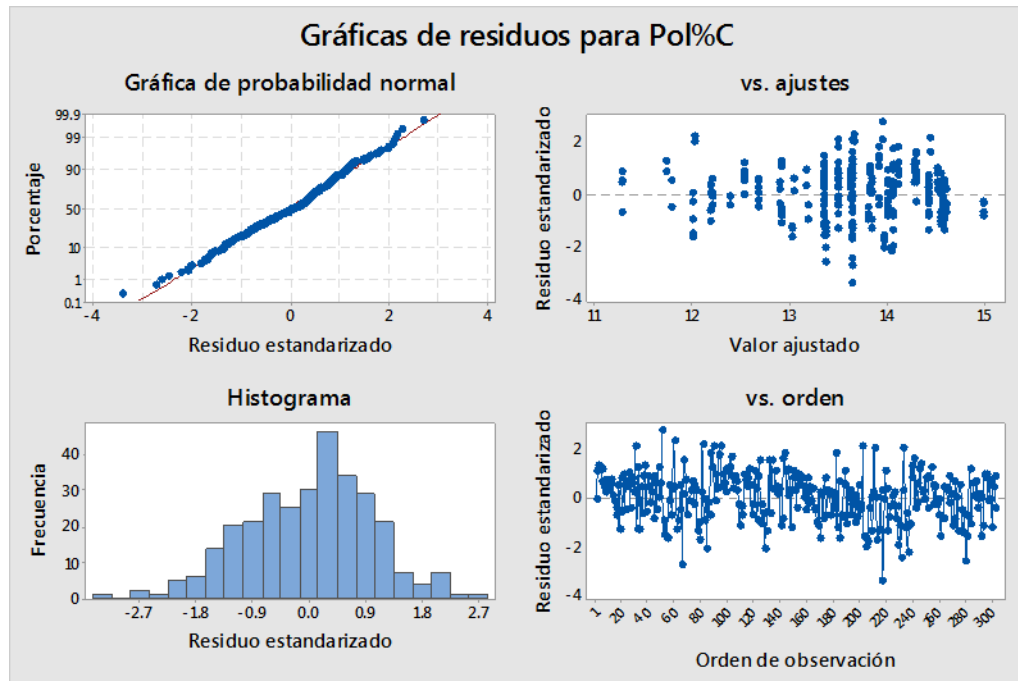


Figura No. 89. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para los Grados Brix en caña obtenido del Software Minitab.

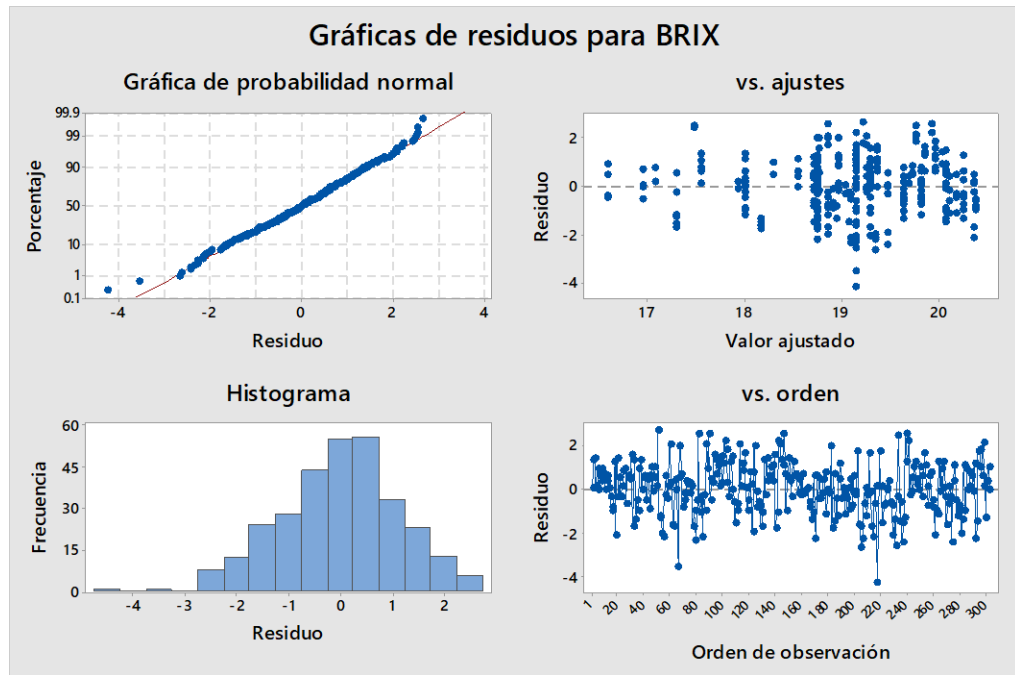


Figura No. 90. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Peso de Torta Húmeda en caña obtenido del Software Minitab.

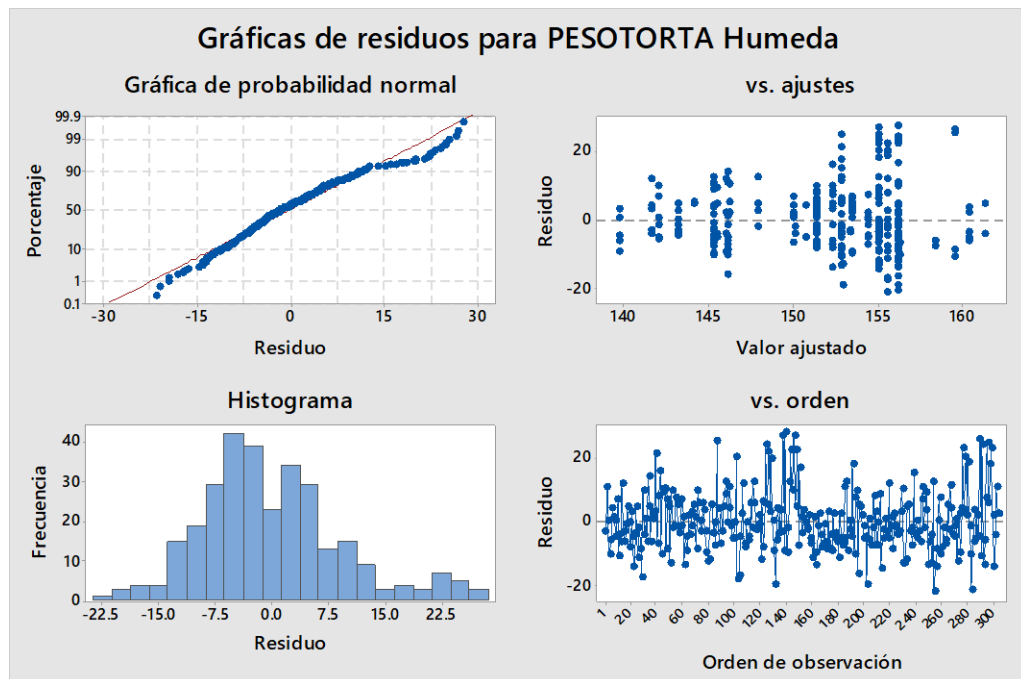


Figura No. 91. Gráficas de residuos para el análisis de regresión factorial de las variables críticas para el Porcentaje de Fibra en caña obtenido del Software Minitab.

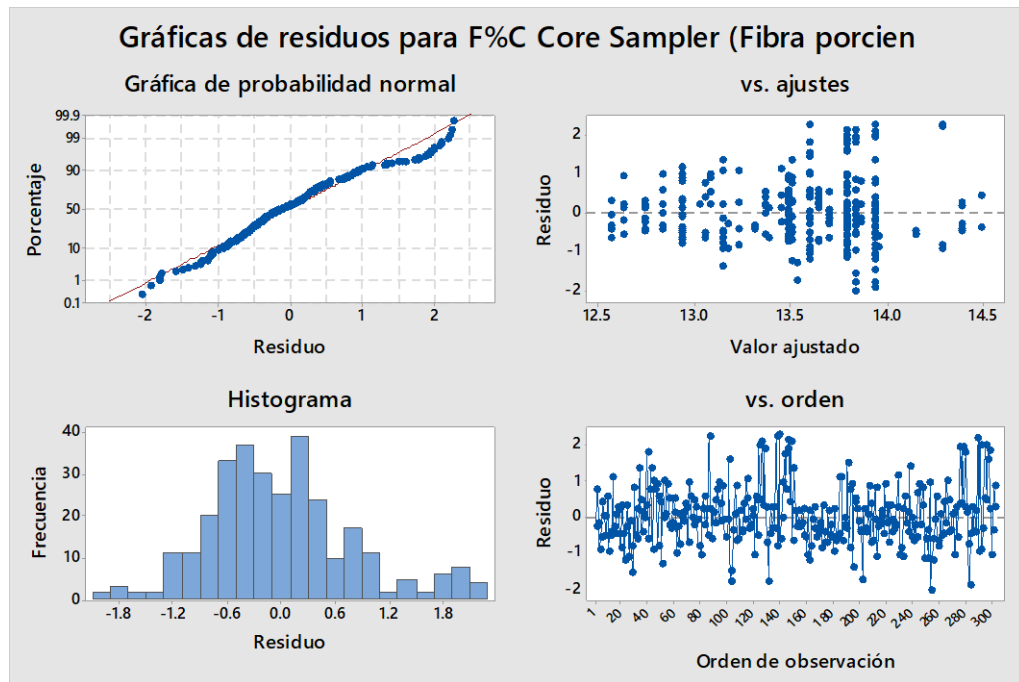


Figura No. 92. Manual de usuario del programa para realizar las correcciones del porcentaje de Pol en la muestra a partir de las ecuaciones obtenidas en el análisis factorial.

Manual de Usuario			
Versión	1	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados
		Código	ING-MU001
		Realizado por:	Emilio Rivera

Objetivo

Establecer un procedimiento para realizar la corrección de los resultados con las ecuaciones obtenidas en el análisis factorial para los grados Brix (°Brix) y para el Peso de Torta Húmeda (PTH) con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel.

Métodos de ensayo utilizados

- Se utilizó la “Guía para la Determinación de Pol en caña” Versión 2, publicada por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICANA) brindada por el Ingenio.

Hojas de cálculo utilizadas

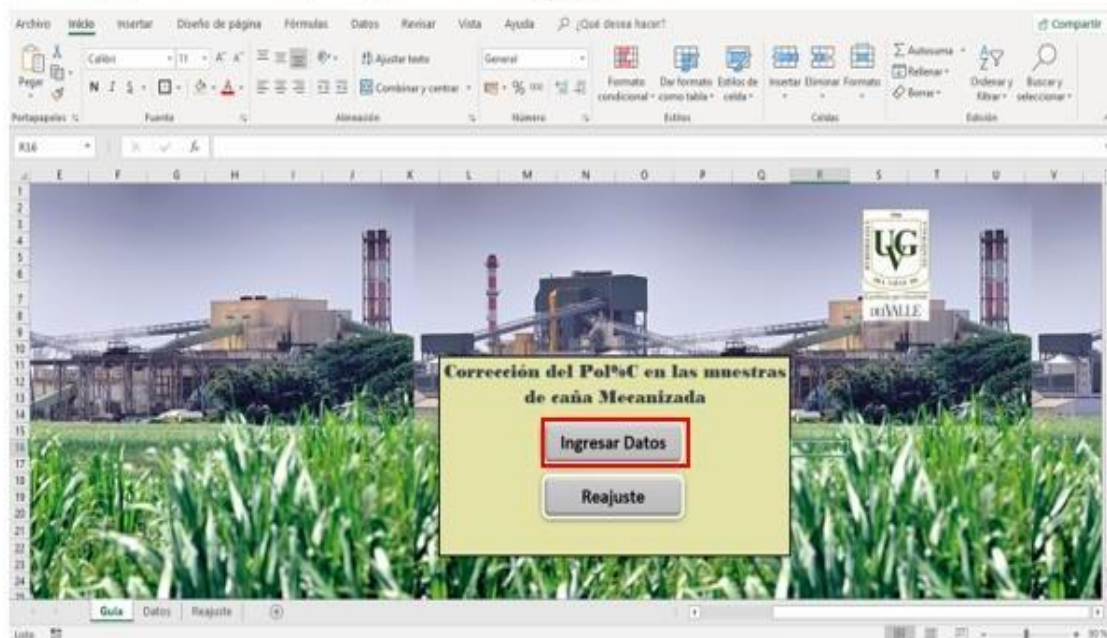
- ING.MU001.xlsx: Programa para corrección del porcentaje de Pol en las muestras de caña provenientes del corte mecanizado.

Procedimiento de validación y uso de hoja de cálculo

1. Utilizar la metodología de la “Guía para la Determinación de Pol en caña” para preparar las muestras y para realizar los análisis refractométricos y polarimétricos. Al igual que se debe realizar una búsqueda a los datos según la nota de peso, el cual es el número de identificación de las jaulas de caña.
2. Abrir el archivo ING.MU001.xlsx como se observa en la Figura 1. En el Menú Principal.

		Manual de Usuario			
Versión	1	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados	Realizado por:	Emilio Rivera
		Código	ING-MU001		

Figura 1: "Menú Principal para la corrección del porcentaje de Pol en la caña (Pol%C)"



El recuadro rojo muestra el botón para ingresar los datos que se recopilaron en el Paso 1.

3. En la tabla de Datos se observan los siguientes campos (Ver Figura 2):
 - a. Día de Zafra (El número correlativo del día de la zafra)
 - b. Fecha (Fecha del día en que se realizó la muestra)
 - c. Nota de Peso (Es un número correlativo diferente para cada muestra de caña)
 - d. Variedad (Es el tipo de caña en la muestra)
 - e. Distancia (La distancia a la cual se encuentra la finca del ingenio)
 - f. Pol (Resultado del análisis polarimétrico realizado al jugo de caña)
 - g. Temperatura (La temperatura promedio del día en que se realizó el muestreo)

Manual de Usuario		
Versión	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados
1	Código	ING-MU001

Realizado por:
Emilio Rivera

Figura 2: “Caldas de ingreso para los resultados de las variables críticas”

No de Zafra	Fecha	Nota de Peso	Variedad	Distancia (km)	Rango de Distancia	Temperatura Promedio (°C)	Rango de Temperatura
96	18/02/2018	26821	CP72-2086	30	2	27.5	4
96	18/02/2018	26825	CP72-2086	60	3	29.3	5
96	18/02/2018	26846	CP72-2086		0		0
96	18/02/2018	26856	CP72-2086		0		0
96	18/02/2018	26868	CP72-2086		0		0

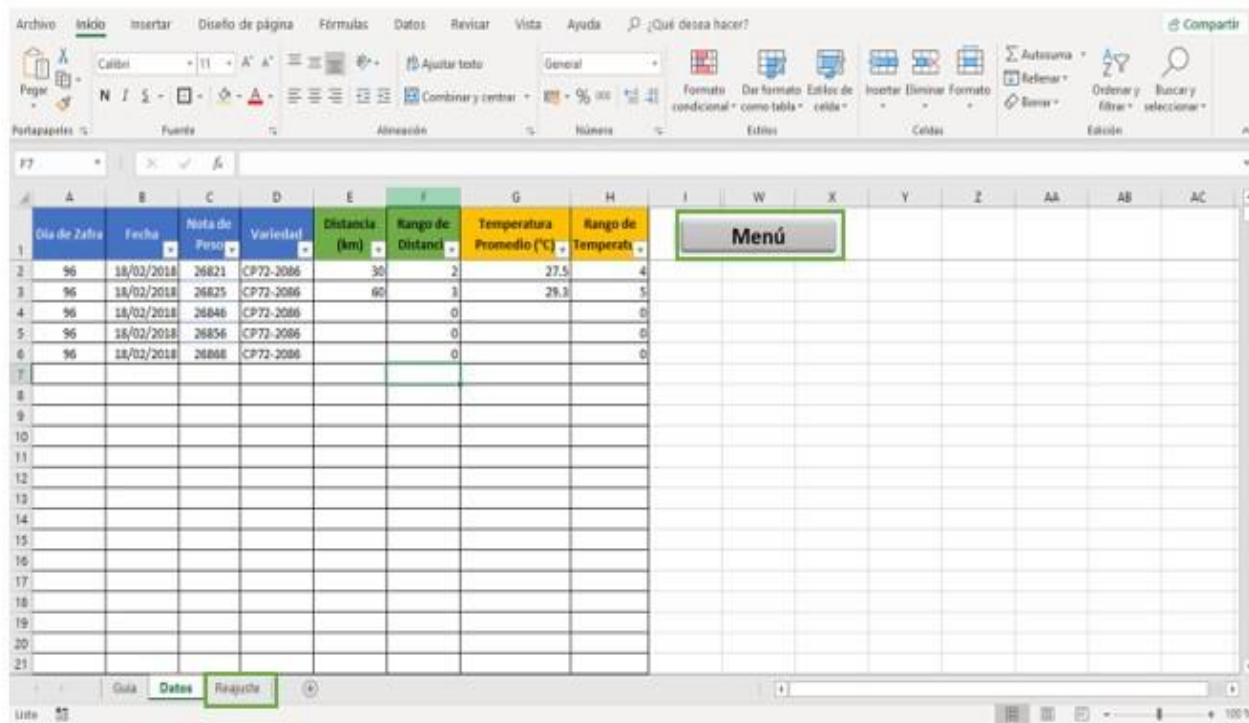
El recuadro rojo marca los campos para ingresar información que permiten realizar la corrección del resultado del porcentaje de Pol en la muestra y que también permiten llevar un orden para lograr identificar todas las muestras.

Manual de Usuario		
Versión	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados
1	Código	ING-MU001

Realizado por:
Emilio Rivera

4. Una vez ingresado estos valores, es necesario regresar al Menú Principal con la ayuda del botón que dice "Menú" o seleccionar la pestaña de "Reajuste".

Figura No. 3: "Celdas de ingreso para factor respuesta de sacarosa"



El recuadro verde muestra el botón para regresar al Menú Principal o la pestaña para ir a los resultados del Reajuste.

		Manual de Usuario			
Versión	1	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados	Realizado por:	Emilio Rivera
		Código	ING-MU001		

5. En la pestaña Reajuste se obtienen los resultados automáticos para los campos ingresados previamente en la pestaña Datos.
 - a. Se puede observar que el programa calcula automáticamente los rangos en el cual se encuentra según la temperatura promedio y la distancia de viaje.
 - b. De igual forma se observa el cálculo para el reajuste según los Grados Brix y la corrección según el PTH.

Figura No. 4: “Resultado del cálculo para el Porcentaje de Pol en la Caña para los datos ingresados previamente”

	Dia Zafra	Fecha	Variedad	Distancia (km)	Rango de Distancia	Temperatura	Rango de Temperatura	Rangos Brix	Rangos PTH	Pol Brix	Pol PTH			
21	06	18-02-2008	CP72-2008	30	2	27.5	4	18.948	19.516	19.363	150.63	151.32	0.47316302	0.579881967
22	06	18-02-2008	CP72-2008	60	3	29.3	3	18.948	19.722	19.722	150.63	155.03	0.78802788	06.08262317
23	06	18-02-2008	CP72-2008	0	0	0	0	18.948	0	0	150.63	0	0.91017187	0
24	06	18-02-2008	CP72-2008	0	0	0	0	18.948	0	0	150.63	0	0.91017187	0
25	06	18-02-2008	CP72-2008	0	0	0	0	18.948	0	0	150.67	0	0.91017187	0
26	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
27	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
28	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
29	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
30	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
31	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
32	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
33	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
34	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
35	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
36	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
37	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
38	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
39	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
40	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
41	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0
42	0	0-01-1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.91017187	0

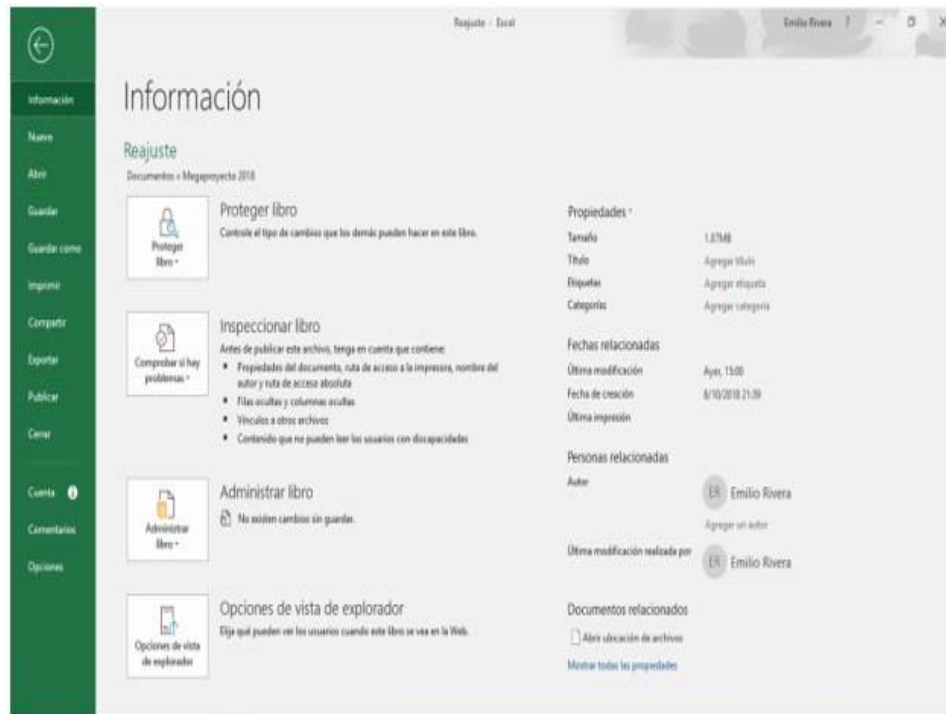
El recuadro morado muestra los resultados del reajuste para las variables críticas según la Ecuación 3 y Ecuación 4 y el recuadro azul los resultados del Porcentaje de Pol en la caña ya corregido.

Manual de Usuario		
Versión	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados
1	Código	ING-MU001

Realizado por:
Emilio Rivera

6. Los Dirigirse a la Pestaña Archivo en la parte superior del programa Excel, seleccionar la tercera opción en la barra izquierda color verde, con el nombre "Guardar".

Figura No. 5: "Pestaña para guardar el programa"



Manual de Usuario			
Versión	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados	Realizado por:
1	Código	ING-MU001	Emilio Rivera

Ecuación No. 19 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del Brix

$$\begin{aligned}
 \text{Brix} = & 18.348 - 1.545(\text{CG00} - 033) - 1.409(\text{CG00} - 102) + 0.736(\text{CG02} - 163) + 0.857(\text{CG98} - 10) - 1.078(\text{CG98} - 46) \\
 & + 0.712(\text{CG98} - 78) + 0.598(\text{CP72} - 2086) + 0.887(\text{CP73} - 1547) + 0.391(\text{CP88} - 1165) - 0.550(\text{SP71} - 6161) \\
 & + 0.402(\text{VARIAS}) - 1.265(\text{Rango de T}_1) - 0.821(\text{Rango de T}_2) + 0.589(\text{Rango de T}_3) + 0.347(\text{Rango de T}_4) \\
 & + 0.776(\text{Rango de T}_5) + 0.375(\text{Rango de T}_6) - 0.573(\text{Rango distancia}_1) + 0.045(\text{Rango distancia}_2) \\
 & + 0.528(\text{Rango distancia}_4)
 \end{aligned}$$

Ecuación No. 20 Ecuación obtenida del análisis de Minitab para la corrección del Peso de Torta Húmeda

$$\begin{aligned}
 \text{PTH} = & 149.17 + 9.93(\text{CG00} - 033) - 5.39(\text{CG00} - 102) - 8.26(\text{CG02} - 163) + 1.56(\text{CG98} - 10) - 9.40(\text{CG98} - 46) + 0.90(\text{CG98} \\
 & - 78) + 1.48(\text{CP72} - 2086) - 1.35(\text{CP73} - 1547) - 1.25(\text{CP88} - 1165) + 6.88(\text{SP71} - 6161) + 4.9(\text{VARIAS}) \\
 & - 8.20(\text{Rango de T}_1) - 4.57(\text{Rango de T}_2) + 2.2(\text{Rango de T}_3) + 0.67(\text{Rango de T}_4) + 4.38(\text{Rango de T}_5) \\
 & + 5.51(\text{Rango de T}_6)
 \end{aligned}$$

a

Manual de Usuario		
Versión	Ensayo	Uso del programa para la corrección de resultados
1	Código	ING-MU001

Realizado por:
Emilio Rivera

Cálculos

Ecuación No. 21 Porcentaje de Fibra en la caña

$$F\%C = \frac{100 * (P_{bs} - B_{je} * P_{bh})}{5 * (100 - B_{je})}$$

Donde:

$F\%C$ es el porcentaje de Fibra en la muestra de caña

P_{bs} es el peso de la torta de bagazo seco (g)

B_{je} es el Brix del jugo extraído

P_{bh} es Peso de la torta de bagazo húmedo (g)

Ecuación No. 22 Porcentaje de Pol en la caña¹

$$Pol\%C = (Pol \text{ jugo extraído}) * [1 - 0.01(F\%C)] * [1.0313 - 0.00575(F\%C)]$$

Donde:

$Pol\%C$ es el porcentaje de Pol en la muestra de caña

$F\%C$ es el porcentaje de Fibra en la muestra de caña

$Pol \text{ Jugo extraído}$ es el resultado de la polarimetría

Figura No. 93. Guía para la determinación de Pol en la caña utilizado por el laboratorio de calidad para el muestreo de jaulas que ingresan al patio de caña.

GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE POL EN CAÑA

Versión 2



Versión 1

La versión 1 de esta Guía se elaboró y gestionó con los aportes y la colaboración del personal responsable de los laboratorios de la Agroindustria Azucarera de Guatemala y fue publicada por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA): Ingenio Trinidad: Byron Obregón y Luis Cifuentes. Ingenios Pantaleón-Concepción: Juan Manuel León y Francisco José Paz. Ingenio Santa Ana: Rodrigo Paz. Ingenio Magdalena: Marco Fuentes, Jorge Ixpatá y Paola Rivera. Ingenio Palo Gordo: Alexis O. González, Ligia Chávez y Paula Rodas. Ingenio Madre Tierra: Annabella Escobar. Ingenio La Unión: Violeta Castañeda, Edgar Bonilla y Milton Cifuentes. CENGICAÑA: Byron López y Wendy de Cano.

Versión 2

La versión 2 de esta Guía se elaboró y gestionó con los aportes y la colaboración del personal responsable de los laboratorios de la Agroindustria Azucarera de Guatemala y fue publicada por el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA): Ingenio Trinidad: Luis Cifuentes. Ingenios Pantaleón-Concepción: Juan Manuel León. Ingenio Santa Ana: Rodrigo Paz. Ingenio Magdalena: Marco Fuentes. Ingenio Palo Gordo: Alexis O. González. Ingenio Madre Tierra: Annabella Escobar. Ingenio La Unión: Edgar Bonilla y Milton Cifuentes. CENGICAÑA: Raisa Vega y Mario Muñoz.

Publicación de CENGICAÑA y del Comité de Estandarización y Normalización.

Guatemala, octubre 2016

Todos los derechos reservados ©

4. DESARROLLO

4.1 Alce de caña cortada manualmente

A la etapa final del alce a granel de la caña cortada manualmente se le denominada "Amarre", en esta etapa, los tallos de caña se deben colocar en posición paralela al piso de la jaula y la longitud de los mismos también debe estar alineada paralelamente con la parte más larga de dicha jaula, iniciando del tercer paral hacia el fondo de la jaula, esto permite que la caña esté perpendicular a la sonda del Core Sampler en el momento de tomar la muestra de caña (Ver Figura 1).



Figura 1. Alineación de los tallos de caña dentro de las jaulas al momento del muestreo

Nota 1: El proceso de laboratorio de caña, debe interactuar constantemente con las áreas encargadas de corte, alce y transporte de caña (CAT), para así garantizar la colocación correcta de los tallos de caña durante las etapas de Alce y Amarre, esto permite la obtención de muestras representativas de la caña cortada manualmente y alzada a granel.

4.2 Muestreo de la caña (toma de la muestra) .

4.2.1 Core Sampler. Existen dos tipos de muestreo según el tipo de Core Sampler, con los que deben procurarse los siguientes estándares.

Inclinado

- Diámetro de la sonda de 20 centímetros (8 pulgadas)
- Velocidad de rotación entre 200 - 400 rpm (para Core Sampler Motocaña/IRBI)
- Velocidad de rotación entre 400 - 600 rpm (para Core Sampler CAMECO/Otros)
- Espacio disponible en sonda mayor a 1.5 metros de longitud (longitud interna de la sonda llena de muestra).

Horizontal

- Diámetro de la sonda de 20 centímetros (8 pulgadas)
- Velocidad de rotación entre 500 - 550 rpm.
- Espacio disponible en sonda mayor a 1.0 metro de longitud (longitud interna de la sonda llena de muestra).

Nota 2: la velocidad de rotación de la sonda debe ser establecida por cada laboratorio, siempre y cuando esté entre el rango establecido según el tipo de Core Sampler. La velocidad definida debe permitir tomar una muestra de los tallos de caña en trozos con el menor daño posible, es decir, que el corte debe ser limpio con una mínima cantidad de extracción de jugo.

4.2.2 Punta de la sonda. En las sondas, existen tres tipos de punta de corte, con los que deben procurarse los siguientes estándares.

- Punta con corona dentada (multidientes)
- Punta con sierra
- Punta con corona dentada (dientes triangulares anchos)

En las tres opciones se debe garantizar el estado adecuado de las puntas sin desgaste y fallas visibles, si los dientes están doblados, quebrados, redondeados o desgastados se debe proceder a realizar el cambio de la punta lo más pronto posible (Ver Figura 2).

Nota 3: En las sondas con punta tipo sierra, el montaje de la sierra en la punta debe hacerse con soldadura pulida, se deben evitar los ensamblajes con remaches, tornillos y/o tuercas, ya que estos producen daños en los tallos (extracción de jugo) al momento de la inserción de la sonda.

4.2.4 Operación de Core Sampler

a. Operación del Core Sampler horizontal

Para obtener una muestra por jaula, deben realizarse tres perforaciones a diferentes alturas de la jaula, cada perforación es una submuestra que se debe descargar previo a la toma de la siguiente submuestra. Las perforaciones se realizan en una misma jaula. Arriba, en medio y abajo siguiendo una línea diagonal; se pretende que la toma lleve puntas, secciones medias y bases de tallos de la caña. Ver Figura 3.



Figura 3. Ubicación de perforaciones en las jaulas con Core Sampler horizontal

b. Operación del Core Sampler Inclinado

Opción 1: Dos perforaciones individuales en el mismo punto, se debe realizar la descarga de la muestra que se obtiene en cada perforación. La segunda perforación se realiza con una mayor profundidad que la primera. Tamaño de la muestra 15 kg.

Opción 2: Una perforación, la misma se realiza buscando la penetración de la sonda para la toma de una cantidad de muestra de caña que garantice el objetivo mínimo de 10 Kg de muestra por perforación, ver Figura 1.

4.3 PREPARACION de la muestra de caña

4.3.1 Condiciones de la desfibradora

a. Motor: La velocidad de rotación de 3500 rpm, potencia de 15 HP (mínima), la potencia y el movimiento se transmite por medio de poleas y fajas hacia el rotor.

b. Velocidad del rotor: El eje donde están acopladas las cuchillas debe girar a una velocidad angular de entre 2300 a 2500 rpm.

NOTA 9: Velocidades de las cuchillas arriba de 2700 rpm, provocan un exceso de preparación de la caña, lo que produce un aumento de la nebulización del jugo, la cual se debe evitar. (Nebulizar: Transformar un líquido en partículas finísimas que forman una especie de nube).

c. Ajustes:

Martillos fijos u oscilatorios: Si presentan desgaste se deben cambiar (adquieren en sus puntas formas redondeadas). La experiencia ha mostrado que estos normalmente se desgastan en un período de tiempo de 30 a 60 días de uso. Al observarse el desgaste se debe realizar una rotación, posterior a ello nuevamente se producirá desgaste y entonces será necesario el cambio de los martillos.

NOTA 10: previo a la colocación del rotor con los martillos asegurar que estén balanceados para evitar vibraciones.

4.3.2 Operación de la desfibradora

- a. Caña de cosecha: Se deben ingresar los trozos de caña en forma perpendicular a la rotación de las cuchillas de la desfibradora.
- b. Caña de pre-cosecha: Generalmente son cañas enteras, para facilitar la preparación se ingresa primeramente la punta de la caña.

4.3.3 Rutinas de limpieza

- a. Limpieza en seco: Limpieza simple de la picadora (desfibradora), debe eliminarse la caña desfibrada que se haya acumulado dentro del cuerpo, se recomienda hacerlo cada 8 horas (1 vez por turno). Si se tiene disponible una línea de aire comprimido se puede utilizar aire para eliminar los restos de caña desfibrada, asegúrese de usar su equipo de protección personal, especialmente para la protección de los ojos.
- b. Limpieza húmeda: Al equipo se le desmontan diariamente las cuchillas y contra-cuchillas y se realiza un lavado minucioso con chorro de agua.

4.3.4 Control de la calidad de la preparación de la caña

- a. Índice de preparación: El índice de preparación debe estar entre 88 y 92%. El seguimiento debe realizarse cada 7 días, utilizando la Metodología de CONSECANA-N137 (por medio de lecturas POL).
- b. Control visual: Independiente del control por el índice de preparación, se debe diariamente realizar una inspección de la preparación, para ello es recomendable tener una exposición de fotografías en las cuales el responsable del laboratorio de caña, defina los niveles de preparación, no aceptable, aceptable, bueno. Cada vez que se determine un nivel de preparación no aceptable se debería revisar las cuchillas y los ajustes de las cuchillas. Para ejemplo, véase la Figura 5.



Figura 5. Diferentes niveles de preparación de caña en la desfibadora

4.4 Homogenización de la muestra de caña

4.4.1 Condiciones del equipo

- a. Motor: 1.5 HP de potencia
- b. Velocidad angular: De 30 a 35 rpm (asegurarse que las fajas estén con la tensión correcta)
- c. Raspador Fijo: Se debe garantizar que exista una buena homogenización
- d. Prueba de homogenización: Se determina el tiempo mínimo de homogenización con una prueba de homogenización utilizando azul de metileno.

4.4.2 Operación de la homogenizadora

- a. Asegurar que la posición del raspador quede en la parte superior, ubicación que permite una buena homogenización.
- b. El punto inicial del tiempo de homogenización, ocurre cuando se ha recibido toda la caña desfibrada. El tiempo mínimo de homogenización debe ser determinado por el laboratorio por medio de la prueba de azul de metileno. Observaciones de esta operación de homogenización en laboratorios de Guatemala, sugieren con excelentes resultados un tiempo mínimo de homogenización de 1 minuto.
- c. Garantizar que exista un sello adecuado entre la picadora y la homogenizadora para reducir la pérdida de material desfibrado y jugo nebulizado.

NOTA 13: El sello se debe cambiar al observar rasgaduras, rompimiento o espacios que no sellan entre el hule y el perfil de la homogenizadora.

NOTA 14: El material del sello generalmente es neopreno de $\frac{3}{4}$ " de espesor, sin corazón de lona y un ancho no menor a 4". El material puede ser hule u otro material que garantice la hermeticidad.

4.4.3 Toma de la muestra: Al contar con la muestra bien homogenizada, se recolecta un mínimo de entre 1.50 a 2.00 kg.

4.4.4 Tiempo de permanencia: El prensado de la muestra debe hacerse antes de que pasen 10 minutos de haber recolectado la muestra homogenizada; de esta manera se evita la descomposición microbiológica y la inversión química del jugo de la caña.

4.4.5 Limpieza de la homogenizadora

a. Limpieza rutinaria en seco: Por cada muestra, se eliminan los residuos de caña desfibrada que hayan quedado dentro de la homogenizadora, utilizando para ello un cepillo de cerdas plásticas, esto reduce la posibilidad de mezclar fibras de diferentes muestras.

b. Limpieza húmeda: Diariamente se realiza un lavado minucioso con agua.



Figura 6. Homogenizadora y descarga de una muestra con azul de metileno

4.5.1 Condiciones del equipo

a. Presión de operación: La presión de operación es de 250 kg/cm² (3556 psig), lectura de presión que debe leerse en el manómetro que está acoplado en la prensa hidráulica, esta presión debe ser verificada a menudo con una celda de carga.

NOTA 15: Se recomienda realizar una calibración del manómetro, al menos una vez al año.

NOTA 16: Es recomendable realizar pruebas de verificación de la presión hidráulica, durante el período de operación colocando un equipo de medición tipo celda de carga. Ver Figura 7.



Figura 7. Calibración y ajuste de manómetro de prensa utilizando una celda de carga

b. Tiempo de operación: La presión efectiva sobre la muestra homogenizada se aplica durante 1 minuto, se empieza a cronometrar el tiempo a partir del momento en que el manómetro alcanza y mantiene una presión de 250 kg/cm². Esta presión debe confirmarse en la muestra a través de una celda de carga.

4.5.3 Muestra

a. Manejo de la muestra de caña: De la muestra de caña homogenizada se toman 500 gramos +/- 0.5 gramos.

b. Traslado de la muestra. En el traslado de la muestra de caña desfibrada hacia el cesto, tener el cuidado de no perder una parte de la muestra. Se recomienda el uso de un embudo para pasar la muestra del recipiente hacia el vaso de prensado.

4.5.4 Análisis del bagazo húmedo extraído

a. Manejo de la muestra de bagazo extraído: Evitar perder parte de la masa de la muestra.

b. Pesaje: Para medir el peso de la muestra observar lo siguiente.

Balanza: El peso debe realizarse en una balanza semi-analítica con 0.1 g de resolución.

Pesaje: Realizar el pesaje en un espacio libre de viento, se sugiere que la balanza se encuentre en un ambiente cerrado de preferencia en el área de análisis.

c. Determinación de fibra % caña

Método sugerido: Modelo CONSECANA

Se utiliza el modelo matemático establecido por CONSECANA. (Este modelo se utiliza para el pago de la caña en el estado de Sao Paulo, Brasil).

$$\text{Fibra\%caña} = (0.08 * (PBH)) + 0.876$$

Donde: PBH es el peso del bagazo húmedo en gramos.

También se utiliza un modelo matemático de correlación encontrada con ensayos de fibra "Metodología Tanimoto", la misma puede irse cambiando en el transcurso de la zafra por cambios en la humedad de la caña.

d. Recolección de jugo extraído

Para minimizar el incremento de la contaminación microbiológica, durante el prensado y recolección de jugo deben observarse las siguientes recomendaciones:

- No se debe emplear mangueras para conducirlo del vaso de prensado hacia el recipiente recolector.

- No se debe realizar colado.

NOTA 18: La eliminación de uso de mangueras y colador es para minimizar la contaminación cruzada de muestras y la contaminación microbiológica. Ver Figura 9.

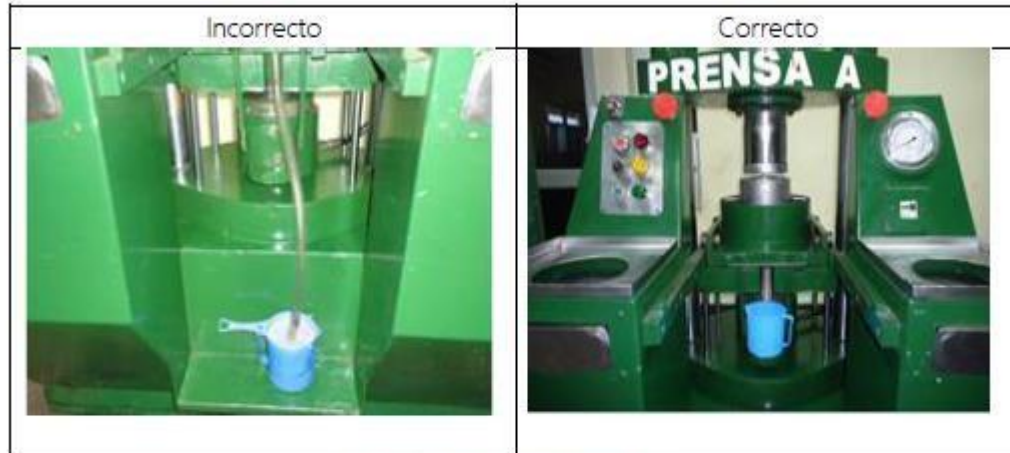


Figura 9. Recolección de jugo extraído

4.6 Análisis del jugo extraído

4.6.1 Condiciones de los equipos

a. Refractómetro: 0.05 °brix

b. Polarímetro:

- 880 nm
- 582 nm

4.6.2 Cristalería y accesorios

a. Beaker de 250 mL.

b. Embudos

4.6.3 Agente para clarificación

OCTAPOL: Preparación para activación, se recomienda agitación mecánica, con un equipo girando en el rango de 30 a 60 rpm durante un tiempo mínimo de 10 minutos.

4.6.4 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.

NOTA 20: Si se carece del equipo, la agitación se puede realizar manualmente con ayuda de una varilla de agitación, siempre que se garantice una buena homogenización.



Figura 10. Homogenizadora de muestras y detalle del eje agitador

4.6.6 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 21: 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 22: 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.

2. Validación de métodos analíticos y de laboratorio

a. Guías y manuales

A continuación, se muestra un ejemplo de las guías, manuales, procedimientos y metodologías elaboradas para estandarizar los procesos del ingenio azucarero. Las metodologías finales cuentan con imágenes y otras ayudas visuales, para ser más amigables con los colaboradores del ingenio. Las metodologías aquí presentadas son únicamente una muestra.

Metodologías de ensayo

1. Metodología de determinación de azúcar por medio de polarimetría (ING.-MM001)

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación de la concentración de una muestra de azúcar proveniente de un efluente o corriente en el ingenio azucarero por medio del método polarimétrico.

Alcance

Es aplicado a efluentes y afluentes que puedan contener sacarosa y requieran ser cuantificadas dentro de un ingenio azucarero

Reactivos

Octapol (Reactivo clarificante)

Equipo

- a. Frasco para almacenar muestras
- b. Balde con agua y hielo
- c. Papel filtro (Ahlstrom, EWS-609, 18.5cm)
- d. Matraz
- e. Termómetro electrónico ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
- f. Embudo plástico
- g. Beaker / vaso
- h. Polarímetro

Metodología

- a. Tomar un volumen de muestra entre 125ml a 250ml y trasvasarlo al matraz.
- b. Agregar entre 5g y 10g de octapol para clarificar la muestra.
- c. Realizar una agitación mecánica de aproximadamente 30 segundos para homogeneizar y clarificar la muestra.
- d. Tomar un filtro de papel y colocarlo sobre el embudo. Para recibir la muestra se utilizará un beaker o un vaso.
- i. Descartar los primeros 5ml del filtrado.
- e. Separar el filtrado y colocarlo dentro del balde con agua y hielo para enfriar la muestra hasta 20°C.
- f. Analizar la muestra en el polarímetro dejando caer en el equipo aproximadamente 30ml por corrida.
- i.a. Realizar un lavado del equipo con agua desmineralizada y llevar el equipo a 0.00°Z antes de realizar cada medición
- g. Determinar el resultado hasta que se mantenga constante en la pantalla del equipo.
- h. Utilizar el “Cálculo No. 1” para determinar la concentración de azúcar en partes por millón (ppm)

Cálculos

Cálculo No. 23: “Conversión de °Z a ppm para las muestras de efluentes de azúcar”

$$\text{Concentración de azúcar en ppm} = \text{Lectura del polarímetro (°Z)} * 2600$$

2. Metodología de determinación de azúcar por medio de HPLC (ING.-MM002)

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación de la concentración de una muestra de azúcar proveniente de un efluente o corriente en el ingenio azucarero por medio del método de cromatografía líquida.

Alcance

Es aplicado a efluentes y afluentes que puedan contener sacarosa y requieran ser cuantificadas dentro de un ingenio azucarero.

Reactivos

Octapol (Reactivo clarificante)

Equipo

- a. Frasco para almacenar muestras
 - b. Balde con agua y hielo
 - c. Papel filtro (Ahlstrom, EWS-609, 18.5cm)
 - d. Matraz
 - e. Termómetro electrónico ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
 - f. Embudo plástico
 - g. Beaker / vaso
 - h. Jeringa
 - i. Filtro
 - j. Beaker
 - k. Contenedor de muestra
 - l. Equipo de cromatografía
- i. Inyector
 - ii. Detector
 - iii. Bomba
 - iv. Horno de columna.
- ### Metodología
- a. Tomar un volumen de muestra entre 125ml a 250ml y trasvasarlo al matraz.
 - b. Agregar entre 5g y 10g de octapol para clarificar la muestra.
 - c. Realizar una agitación mecánica de aproximadamente 30 segundos para homogeneizar y clarificar la muestra.
 - d. Tomar un filtro de papel y colocarlo sobre el embudo. Para recibir la muestra se utilizará un beaker o un vaso.
- i. Descartar los primeros 5ml del filtrado.
 - e. Separar el filtrado y colocarlo dentro del balde con agua y hielo para enfriar la muestra hasta 20°C .
 - f. Trasvasar la muestra filtrada al contenedor para la medición en el cromatógrafo.
 - g. Pasar la muestra a un beaker pequeño.
 - h. Utilizar la jeringa para succionar la muestra del beaker y poder inyectarla al equipo.
 - i. Colocar un filtro en la jeringa previo a la inyección al equipo, posteriormente inyectarlo de manera moderada.

- j. Una vez la muestra entre a la columna, esperar alrededor de 20 minutos para poder determinar los picos de glucosa, sacarosa y fructosa de la muestra.
- k. Utilizar los cálculos del 1 al 2 para determinar la concentración de sacarosa de la muestra

Cálculos

Cálculo No. 24: “Determinación del porcentaje o masa de sacarosa de azúcar a partir de los resultados proporcionados por el HPLC”

$$M (g) = FR * H$$

Donde M es la masa determinada de sacarosa, FR el factor respuesta o factor de corrección y H la altura del pico de sacarosa obtenido del equipo.

Cálculo No. 25: “Determinación de ppm de azúcar a partir de los resultados proporcionados por el HPLC” $C (ppm) = M(g) * 10 * (1000mg \text{ sacarosa}) / (g \text{ muestra})$

Donde C es la concentración de sacarosa en partes por millón y M la masa determinada de sacarosa.

3. Metodología de determinación de caudal por medio de canal de Parshall. (ING.-MM003)

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación del caudal en un aforador de Parshall

Alcance

Es aplicado a efluentes que cuenten con un sistema de aforador Parshall en algún punto de su trayectoria.

Equipo

- a. Regla de metal graduada
- b. Cinta métrica

Puntos importantes en el canal Parshall

- a. Punto de medición
- b. Garganta

- c. Sección convergente
- d. Sección divergente

Metodología

- a. Determinar la hora exacta y el día de zafra en la que se está realizando la medición.
- b. Tomar la varilla de metal o regla metálica graduada y, en el punto de medición (a), tomar la altura de la corriente.
 - i. El punto de medición se encuentra a 1/3 de la distancia total de la sección convergente, en este caso está marcado con color rojo.
 - ii. En el caso que no esté marcado el punto de muestreo, se puede utilizar una cinta métrica para determinar el mismo.
- c. Anotar el dato de la medición y realizar la medición en triplicado, esperando 1 minuto entre cada medición.
- d. Utilizar el cálculo No. 1 para determinar el caudal o gasto del canal de Parshall.

Cálculos

Cálculo No. 26: “Determinación del gasto del efluente utilizando la ecuación para el canal de Parshall”

$$Q = 2.184 * H_t^{1.566}$$

* Los canales de Parshall del ingenio utilizan la ecuación descrita anteriormente debido a que esta es la correspondiente por el tamaño de la garganta.

4. Metodología de determinación de caudal por medio de alturas y velocidades. (ING.-MM004)

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación del caudal en un canal de entrada rectangular con fondo plano sin variación de ancho ni desnivel.

Alcance

Es aplicado a afluentes que cuenten con un canal de entrada rectangular con fondo plano sin variación de ancho ni desnivel.

Equipo

- a. Regla de metal graduada

- b. Cinta métrica
- c. Pelotas de ping – pong
- d. Cronometro

Metodología

- a. Determinar la hora exacta y el día de zafra en la que se está realizando la medición.
- b. Tomar la varilla de metal o regla metálica graduada y, en el punto de medición (a), tomar la altura de la corriente.
- i. El punto de medición debe ser exactamente a la par del sensor de entrada, para que la comparación contra el método de medición de la sonda electrónica sea más eficaz.
 - c. Anotar el dato de la medición y realizar la medición en triplicado, esperando 10 segundos entre cada medición.
 - d. Al mismo tiempo que se tome la altura (punto 2) es necesario tirar una pelota de ping pong en el canal, desde el punto de inicio determinado previamente hasta el punto final. Determinar el tiempo que la pelota recorre este trayecto.
 - e. Utilizar los cálculos del 1 al 3 para determinar el caudal de entrada en el canal.

Cálculos

Cálculo No. 27: “Determinación del área del canal” $A(m^2)=a(m)*l(m)$

*Donde A: es el área del canal, a: el ancho del canal y l: el largo del canal.

Cálculo No. 6: “Determinación de la velocidad de la pelota”

$$V(m/s)=(l(m))/(t(s))$$

*Donde V: es la velocidad lineal del caudal, l: el largo del canal y t: el tiempo que tardo la pelota en recorrer el trayecto.

Cálculo No. 28: “Determinación del caudal” $Q(m^3/s)=V(m/s)*A(m^2)$

*Donde Q: es el caudal, V: la velocidad lineal y A: es el área del canal.

ii. Protocolos de muestreo

1. Protocolo de muestreo para determinación de caudal y concentración en los canales de Parshall (ING.-PM001)

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación del caudal y concentración de una muestra de efluente en un caudal de Parshall.

Alcance

Es aplicado a efluentes que cuenten con un sistema de aforador Parshall en algún punto de su trayectoria.

Equipo

- a. Regla de metal graduada
- b. Toma-muestras
- c. Contenedor de muestras

Métodos de ensayo utilizados

- a. ING.-MM001: Determinación de concentración de azúcar por medio de polarimetría.
- b. ING.-MM002: Determinación de concentración de azúcar por medio de HPLC.
- c. ING.-MM003: Determinación de caudal por medio de canal de Parshall.

Metodología

- a. Determinar la hora exacta y el día de zafra en la que se está realizando la medición.
 - b. Previo a sacar una muestra él toma muestras debe ser lavado 3 veces con el mismo fluido para eliminar cualquier contaminante. Esto aplica tanto para el contenedor de muestras como para él toma muestras.
 - c. Tomar una muestra del canal de Parshall y trasvasarla al contenedor de muestras. Llevar el contenedor de muestras al laboratorio para analizar.
- i. Analizar esta muestra utilizando las metodologías de ensayo para concentración:
1. ING.-MM001
 2. ING.-MM002
- d. Tomar la altura de la corriente en el punto de muestreo. Utilizar como guía el método de ensayo para determinación de caudal de Parshall ING.-MM003.

Cálculos

Todos los cálculos se pueden revisar en los métodos descritos en la sección de “Métodos de ensayo utilizados”

iii. Manuales de validación

1. Manual de validación del polarímetro con respecto al HPLC. (ING.-MV001)

Objetivo

Establecer un procedimiento para realizar la validación de los resultados proporcionados por el método de polarimetría (ING.-MM001) con respecto a los obtenidos por el método de cromatografía líquida (ING.-MM002), utilizando la hoja de cálculo (programa) ING.-MVE001.

Alcance

Este manual de validación puede emplearse para todos los equipos nuevos de polarimetría o equipos ya validados, para determinar la variación de sus resultados a comparación con los que proporciona el cromatógrafo de alta resolución (HPLC).

Métodos de ensayo utilizados

- a. ING.-MM001: Determinación de concentración de azúcar por medio de polarimetría.
- b. ING.-MM002: Determinación de concentración de azúcar por medio de HPLC.

Hoja de cálculo utilizadas

- a. ING.-MVE001: Programa para validación de polarimetría con respecto a HPLC.

Preparación para la validación

- a. Preparar el material para analizar 20 muestras tanto por el ensayo ING.-MM001 como ING.-MM002.
- b. Utilizar el protocolo de muestreo ING.-PM001 para recopilar las muestras y hacer la validación.
- c. Preparar la hoja de cálculo ING.-MVE001 previo a hacer la validación para poder realizar la tabulación de los datos.
- d. Hacer la calibración del HPLC para obtener los factores de respuesta o corrección para la medición de concentración de azúcar en las muestras.

Procedimiento de validación y uso de hoja de cálculo

- a. Utilizar la metodología de ensayo ING.-MM001 para determinar la concentración de sacarosa en °Z
 - Agregar este resultado en la celda correspondiente al número de muestra y número de repetición. Para la polarimetría se debe realizar en duplicado.
- b. Utilizar la metodología de ensayo ING.-MM002 para determinar la altura del pico de sacarosa
 - Agregar este resultado en la celda correspondiente al número de muestra y número de repetición.
- c. Una vez ingresado estos valores, es necesario colocar el factor de corrección o factor respuesta proveniente de la calibración del HPLC, revisar Figura No.3
- d. Los resultados, tanto de la concentración determinada con el polarímetro como la determinada por el cromatógrafo se muestran en las celdas “promedio sacarosa (ppm)” y “HPLC (ppm)” respectivamente.

e. Los resultados, tanto de la concentración determinada con el polarímetro como la determinada por el cromatógrafo se grafican para mostrar la ecuación de corrección para el polarímetro en la pestaña “Gráfico No. 1 “Validación PvH””.

2. Manual de validación del canal de Parshall. (ING.-MV002)

Objetivo

Establecer un procedimiento para realizar la validación de las medidas de diseño de un canal de Parshall.

Alcance

Este manual de validación puede emplearse para todos los aforadores nuevos de Parshall o aforadores ya validados, para determinar la variación de sus dimensiones con respecto a la dimensión de diseño.

Métodos de ensayo utilizados

N/A

Hoja de cálculo utilizadas

a. ING.-MVE002: Programa para validación de dimensiones de un canal de Parshall

Preparación para la validación

a. Preparar la hoja de cálculo ING.-MVE002 previo a hacer la validación para poder realizar la tabulación de los datos.

Equipo

- a. Cinta métrica ($\pm 0.01\text{m}$)
- b. Varilla de metal graduada ($\pm 0.01\text{m}$)

Procedimiento de validación y uso de hoja de cálculo

a. Realizar una determinación de todas las medidas del canal de Parshall que se solicitan en la hoja de cálculo ING.-MVE002, como por ejemplo el ancho de garganta, longitud de pared de sección convergente, ancho de salida, etc.

- Agregar este resultado en la celda correspondiente

b. Una vez ingresado las dimensiones del canal, la hoja de cálculo determinara el ancho de garganta.

La ecuación por utilizar dependerá del ancho de garganta que se tenga y del porcentaje de variación. P.ej: Si el ancho de garganta es de 0.90m, se deberá utilizar la ecuación que entre dentro del rango de la tabla

3. Manual de validación de la sonda electrónica del canal de entrada. (ING.-MV003)

Objetivo

Establecer un procedimiento para realizar la validación de los resultados proporcionados por el método alturas y velocidades (ING.-MM004) con respecto a los obtenidos por la sonda electrónica, utilizando la hoja de cálculo (programa) ING.-MVE003.

Alcance

Este manual de validación puede emplearse para la validación de las medidas proporcionadas por la sonda electrónica en el canal de entrada del ingenio azucarero.

Métodos de ensayo utilizados

- a. ING.-MM004: Metodología de determinación de caudal por medio de alturas y velocidades.

Hoja de cálculo utilizadas

- a. ING.-MVE003: Programa para validación de la sonda del canal de entrada.

Preparación para la validación

- a. Preparar el material para analizar 8 muestras con la metodología de ensayo ING.-MM004.
- b. Preparar la hoja de cálculo ING.-MVE003 previo a hacer la validación para poder realizar la tabulación de los datos.

Procedimiento de validación y uso de hoja de cálculo

- a. Tomar las dimensiones del canal de entrada (ancho y largo) y colocarlas en la hoja de cálculo ING.-MVE003 como se muestra en Figura No.15.
 - Las mediciones se deben de tomar 5 veces para disminuir el error en la misma.
- b. Utilizar la metodología de ensayo ING.-MM004 para determinar el tiempo y altura de la corriente de entrada en el canal. Colocar estos datos en la hoja de cálculo ING.-MVE003 como se muestra en Figura No.1.
- c. En el mismo momento que se determine el tiempo y velocidad por el método de ensayo ING.-MM004, se debe de anotar el dato de caudal y velocidad proporcionado por el panel de la sonda electrónica”
- d. La hoja electrónica realizará el cálculo del porcentaje de error y la diferencia entre ambas mediciones, para poder tomar una decisión sobre los resultados y solicitar un mantenimiento del sensor de la sonda electrónica o del canal de entrada.

iv. Programas de validación

1. Programa de validación para el polarímetro con respecto al HPLC. (ING.-MVE001)

Figura No.94: Captura de pantalla del programa ING.-MVE001

Día calza	Fecha realizada	No. Muestra	Repetición	Incertidumbre (Z)	Sacarosa (ppm)	Promedio sacarosa (ppm)	Incertidumbre (ppm)	HPLC (ppm)	Incertidumbre (ppm)	Altera de pino Sacarosa	Altera de pino Glucosa	Altera de pino Fructosa	Factor de respuesta Sacarosa	Masa muestra (g)	Masa determinada Sacarosa (g)	Incertidumbre (g)	X Sacarosa	Diferencia	Porcentaje de error	
1		1	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2		2	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3		3	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4		4	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5		5	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6		6	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7		7	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8		8	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9		9	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10		10	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11		11	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12		12	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13		13	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14		14	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15		15	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16		16	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
17		17	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18		18	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19		19	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20		20	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
																		Promedio	0.00	0.00
																		Máximo	0.00	0.00
																		Mínimo	0.00	0.00
																		Desviación	0.00	0.00

2. Programa de validación para las dimensiones del canal de Parshall. (ING.-MVE002)

Figura No.95: Captura de pantalla del programa ING.-MVE002

Símbolo	Definición	Medida diseño (L3 Dba)	Medida real (L3 Dba)	Diferencia diseño vs. real (L3 Dba)	Porcentaje de variación (%)
Q ₁	flujo de operación	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂	flujo de emergencia	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₃₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₄₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₅₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₆₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₇₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₈₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₁	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₂	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₃	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₄	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₅	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₆	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₇	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₈	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₉₉	flujo de reserva	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₁₀₀	flujo de seguridad	0.00	0.00	0.00	0.00

3. Programa de validación para la sonda del canal de entrada. (ING.-MVE003)

Figura No.96: Captura de pantalla del programa ING.-MVE003

Corrida No.	Tiempo (s)	Tiempo promedio (s)	Altura (cm)	Altura (m)	Area (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /h)	Caudal sonda (m ³ /h)	Diferencia (m ³ /h)	% Error
1	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
1	2										
2	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
2	2										
3	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
3	2										
4	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
4	2										
5	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
5	2										
6	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
6	2										
7	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
7	2										
8	1			0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2										

Corrida No.	Caudal (m ³ /h)	Altura (mm)	Altura (m)
1			0
2			0
3			0
4			0
5			0
6			0
7			0
8			0

Datos originales

Cuadro No.91: Datos originales de la determinación de concentración de azúcar por medio polarimétrico y cromatográfico

Día zafra	Fecha realización	No. Muestra	Repetición	°Z	Incertidumbre (°Z)	Altura de pico sacarosa	Factor de respuesta sacarosa	Masa muestra (g)
65	18/01/2018	1	1	0.73	0.01	2.428	0.07402	100
			2	0.74	0.01			
65	18/01/2018	2	1	1.1	0.01	3.733	0.07402	100
			2	1.1	0.01			
65	18/01/2018	3	1	1.38	0.01	4.663	0.07402	100
			2	1.35	0.01			
65	18/01/2018	4	1	1.2	0.01	4.041	0.07402	100
			2	1.2	0.01			
65	18/01/2018	5	1	1.28	0.01	4.398	0.07402	100
			2	1.28	0.01			
65	18/01/2018	6	1	0.26	0.01	0.858	0.07402	100
			2	0.25	0.01			
65	18/01/2018	7	1	0.23	0.01	0.654	0.07402	100
			2	0.24	0.01			

Continuación Cuadro No.91: Datos originales de la determinación de concentración de azúcar por medio polarimétrico y cromatográfico

Día zafra	Fecha realización	No. Muestra	Repetición	°Z	Incertidumbre (°Z)	Altura de pico sacarosa	Factor de respuesta sacarosa	Masa muestra (g)	
65	18/01/2018	8	1		0.2	0.01	0.557	0.07402	100
			2		0.2	0.01			
65	18/01/2018	9	1		0.27	0.01	0.92	0.07402	100
			2		0.25	0.01			
65	18/01/2018	10	1		0.28	0.01	1.004	0.07402	100
			2		0.27	0.01			
121	15/03/2018	11	1		0.14	0.01	0.398	0.076118574	100
			2		0.15	0.01			
121	15/03/2018	12	1		0.28	0.01	0.983	0.076118574	100
			2		0.28	0.01			
121	15/03/2018	13	1		0.27	0.01	0.918	0.076118574	100
			2		0.27	0.01			
121	15/03/2018	14	1		0.26	0.01	0.91	0.076118574	100
			2		0.27	0.01			
121	15/03/2018	15	1		0.19	0.01	0.688	0.076118574	100
			2		0.18	0.01			
128	22/03/2018	16	1		0.48	0.01	1.638	0.074056096	100
			2		0.48	0.01			
128	22/03/2018	17	1		0.49	0.01	1.697	0.074056096	100
			2		0.49	0.01			
128	22/03/2018	18	1		0.44	0.01	1.454	0.074056096	100
			2		0.43	0.01			
128	22/03/2018	19	1		0.44	0.01	1.52	0.074056096	100
			2		0.44	0.01			
128	22/03/2018	20	1		0.93	0.01	3.1	0.074056096	100
			2		0.94	0.01			

Notas: El Cuadro anterior muestra los datos obtenidos de 20 muestras iguales, utilizando las metodologías ING.-MM001 y ING.-MM001.

Cuadro No.92: Datos originales de las medidas y dimensiones del canal Parshall de patio

Símbolo	Definición	Medida diseño	Medida real (±0.01m)
W	Ancho de garganta	0.92	0.90
A	Longitud de pared sección convergente	1.68	1.65
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	1.12	1.10
B	Longitud sección convergente	1.65	1.67
C	Ancho de salida	1.22	1.30
D	Ancho de entrada	1.57	1.50
E	Profundidad total	1.90	1.78
T	Longitud de garganta	0.61	0.63
G	Longitud sección divergente	0.92	0.93
H	Longitud de pared sección divergente	0.93	0.90

Notas: Los datos del Cuadro 92 muestran las mediciones realizadas para la validación del diseño del canal de Parshall de patio.

Cuadro No.93: Datos originales de las mediciones de cresta y valle en 20 muestras para el canal Parshall de patio

No.	Ha ($\pm 0.01\text{m}$)	Hb ($\pm 0.01\text{m}$)
1	0.23	0.12
2	0.28	0.11
3	0.24	0.12
4	0.26	0.13
5	0.30	0.13
6	0.27	0.14
7	0.32	0.16
8	0.28	0.16
9	0.20	0.11
10	0.25	0.14
11	0.29	0.15
12	0.30	0.19
13	0.30	0.16
14	0.33	0.22
15	0.25	0.11
16	0.24	0.09
17	0.21	0.11
18	0.21	0.10
19	0.22	0.11
20	0.24	0.14

Notas: Los datos del Cuadro 93 muestran las mediciones realizadas para la validación del diseño del canal de Parshall de patio.

Cuadro No.94: Datos originales de las medidas y dimensiones del canal Parshall de fábrica

Símbolo	Definición	Medida diseño ($\pm 0.01\text{m}$)	Medida real ($\pm 0.01\text{m}$)
W	Ancho de garganta	0.92	0.92
A	Longitud de pared sección convergente	1.63	1.68
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	1.09	1.12
B	Longitud sección convergente	1.68	1.65
C	Ancho de salida	1.20	1.22
D	Ancho de entrada	1.51	1.57
E	Profundidad total	2.06	1.90
T	Longitud de garganta	0.83	0.61
G	Longitud sección divergente	0.93	0.92
H	Longitud de pared sección divergente	0.97	0.93
M	Longitud de transición de entrada	0.56	0.60

Notas: Los datos del Cuadro 94 muestran las mediciones realizadas para la validación del diseño del canal de Parshall de fábrica.

Cuadro No.95: Datos originales de las mediciones de cresta y valle en 20 muestras para el canal Parshall de fábrica

No.	Ha ($\pm 0.01\text{m}$)	Hb ($\pm 0.01\text{m}$)
1	0.31	0.18
2	0.36	0.17
3	0.32	0.18
4	0.34	0.18
5	0.38	0.29
6	0.35	0.2
7	0.4	0.23
8	0.36	0.2
9	0.28	0.17
10	0.33	0.2
11	0.37	0.21
12	0.38	0.25
13	0.38	0.26
14	0.41	0.3
15	0.33	0.17
16	0.32	0.15
17	0.29	0.18
18	0.29	0.14
19	0.3	0.13
20	0.32	0.16

Notas: Los datos del Cuadro 95 muestran las mediciones realizadas para la validación del diseño del canal de Parshall de fábrica.

Cuadro No.96: Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019

Hora	Día de zafra	Caudal Parshall de patio(m3/s)	Concentración (ppm)
01 - 06:00	121	0.70	338.00
05 - 10:00	121	0.76	832.00
09 - 14:00	121	0.76	442.00
13 - 18:00	121	0.43	338.00
01 - 06:00	122	0.53	364.00
05 - 10:00	122	0.53	780.00
09 - 14:00	122	0.82	598.00
13 - 18:00	122	0.76	364.00
01 - 06:00	123	0.64	338.00
05 - 10:00	123	0.76	338.00
09 - 14:00	123	0.76	546.00
13 - 18:00	123	0.70	442.00
01 - 06:00	124	0.48	520.00
05 - 10:00	124	0.43	416.00
09 - 14:00	124	0.53	676.00
13 - 18:00	124	0.70	312.00
01 - 06:00	125	0.70	234.00
05 - 10:00	125	0.64	546.00
09 - 14:00	125	0.59	312.00
13 - 18:00	125	0.43	312.00
01 - 06:00	126	0.64	390.00
05 - 10:00	126	0.64	286.00
09 - 14:00	126	0.53	676.00
13 - 18:00	126	0.18	260.00
01 - 06:00	127	0.53	780.00
05 - 10:00	127	0.82	312.00
09 - 14:00	127	0.82	416.00
13 - 18:00	127	0.48	754.00
01 - 06:00	128	0.39	520.00
05 - 10:00	128	0.22	2652.00
09 - 14:00	128	0.34	312.00
13 - 18:00	128	0.26	442.00
01 - 06:00	129	0.18	390.00
05 - 10:00	129	0.43	338.00
09 - 14:00	129	0.26	364.00
13 - 18:00	129	0.39	364.00
01 - 06:00	130	0.43	364.00
05 - 10:00	130	0.48	260.00
09 - 14:00	130	0.59	260.00
13 - 18:00	130	0.53	312.00

Notas: En el Cuadro No.96 se muestra el histórico de 10 días seguidos de zafra determinando la concentración y caudal del efluente para la determinación de trazas.

Cuadro No.97: Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019

Hora	Día de zafra	Caudal Parshall de fábrica (m3/s)	Concentración (ppm)
01 - 06:00	121	0.26	728.00
05 - 10:00	121	0.48	650.00
09 - 14:00	121	0.39	832.00
13 - 18:00	121	0.34	832.00
17 - 22:00	121	0.26	728.00
21 - 02:00	121	0.43	312.00
01 - 06:00	122	0.26	624.00
05 - 10:00	122	0.43	832.00
09 - 14:00	122	0.48	806.00
13 - 18:00	122	0.59	702.00
17 - 22:00	122	0.26	572.00
21 - 02:00	122	0.26	754.00
01 - 06:00	123	0.43	702.00
05 - 10:00	123	0.53	650.00
09 - 14:00	123	0.48	806.00
13 - 18:00	123	0.48	1014.00
17 - 22:00	123	0.43	988.00
21 - 02:00	123	0.34	728.00
01 - 06:00	124	0.43	884.00
05 - 10:00	124	0.26	676.00
09 - 14:00	124	0.34	832.00
13 - 18:00	124	0.48	390.00
17 - 22:00	124	0.88	130.00
21 - 02:00	124	1.21	312.00
01 - 06:00	125	0.48	832.00
05 - 10:00	125	0.39	676.00
09 - 14:00	125	0.43	806.00
13 - 18:00	125	0.34	728.00
17 - 22:00	125	0.48	338.00
21 - 02:00	125	0.26	468.00
01 - 06:00	126	0.39	650.00
05 - 10:00	126	0.48	754.00
09 - 14:00	126	0.34	546.00
13 - 18:00	126	0.26	624.00
17 - 22:00	126	0.48	286.00
21 - 02:00	126	0.48	260.00
01 - 06:00	127	0.26	676.00
05 - 10:00	127	0.34	754.00
09 - 14:00	127	0.48	260.00
13 - 18:00	127	0.30	650.00
17 - 22:00	127	0.39	390.00
21 - 02:00	127	0.43	572.00
01 - 06:00	128	0.26	364.00
09 - 14:00	128	0.26	2522.00

Continuación de Cuadro No.97: Datos de caudal y concentración en el Parshall de patio de los días 121 a 130 de la zafra 2018-2019

13 - 18:00	128	0.26	1248.00
17 - 22:00	128	0.26	598.00
21 - 02:00	128	0.34	806.00
01 - 06:00	129	0.39	624.00
05 - 10:00	129	0.30	208.00
09 - 14:00	129	0.34	806.00
13 - 18:00	129	0.34	468.00
17 - 22:00	129	0.34	520.00
21 - 02:00	129	0.26	728.00
01 - 06:00	130	0.48	494.00
05 - 10:00	130	0.34	572.00
09 - 14:00	130	0.26	468.00
13 - 18:00	130	0.43	676.00
17 - 22:00	130	0.53	832.00
21 - 02:00	130	0.34	728.00

Notas: En el Cuadro No.97 se muestra el histórico de 10 días seguidos de zafra determinando la concentración y caudal del efluente para la determinación de trazas.

Cuadro No.98: Dimensiones del canal de entrada al ingenio azucarero

Medición	Ancho (m)	Largo (m)
1	2.61	4.46
2	2.75	4.53
3	2.82	4.5
4	2.88	4.48
5	2.67	4.46

Notas: El Cuadro anterior muestra las mediciones realizadas 5 veces siguiendo la metodología para la determinación del área de estudio en el canal de entrada.

Cuadro No.99: Datos de tiempo y altura determinados por el método ING.-MM004 previo a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica

Corrida No.		Tiempo ($\pm 0.18s$)	Altura ($\pm 0.1cm$)
1	1	3.15	26.5
	2	2.32	
2	1	1.84	24
	2	2.43	
3	1	2.36	26.5
	2	2.58	
4	1	2.50	26.5
	2	2.35	
5	1	2.36	26.5
	2	2.49	
6	1	2.42	26.5
	2	2.36	
7	1	2.31	27
	2	2.30	
8	1	2.43	26.5
	2	2.52	

Notas: El cuadro anterior muestra las mediciones realizadas previo a que se hiciera un arreglo de mantenimiento en el canal de entrada

Cuadro No.100: Datos de caudal y altura determinados por la sonda electrónica previo a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica

Corrida No.	Caudal (m ³ /h)	Altura (mm)
1	2222.2	277
2	2150.21	264
3	2107	263
4	2143	263
5	2155	264
6	2165	264
7	2150	268
8	2130	266

Notas: El Cuadro anterior muestra las mediciones realizadas previo a que se hiciera un arreglo de mantenimiento en el canal de entrada.

Cuadro No.101: Datos de tiempo y altura determinados por el método ING.-MM004 posterior a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica

Corrida No.		Tiempo ($\pm 0.18s$)	Altura ($\pm 0.1cm$)
1	1	5.8	28.0
	2	5.2	
2	1	5.23	24.0
	2	4.89	
3	1	5.89	27.0
	2	5.46	
4	1	5.2	26.0
	2	5.4	
5	1	4.97	26.0
	2	5.22	
6	1	5.4	27.0
	2	5.5	
7	1	5.37	27.0
	2	5.32	
8	1	5.4	27.0
	2	5.6	

Notas: El Cuadro anterior muestra las mediciones realizadas posterior a que se hiciera un arreglo de mantenimiento en el canal de entrada.

Cuadro No.102: Datos de caudal y altura determinados por la sonda electrónica posterior a la limpieza y mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica

Corrida No.	Caudal (m3/h)	Altura (mm)
1	2234.2	281
2	2214	272
3	2138.2	262
4	2167	264
5	2184	268
6	2166.8	263
7	2203.7	270
8	2192	269

Notas: El Cuadro anterior muestra las mediciones realizadas posterior a que se hiciera un arreglo de mantenimiento en el canal de entrada.

b. Cálculos

Cálculo No. 29: Determinación de concentración de sacarosa a partir de °Z

$$\frac{0.73^{\circ}Z}{kg \text{ solución}} * \left(\frac{2.6g \text{ de sacarosa}}{1^{\circ}Z}\right) * \left(\frac{1000mg \text{ sacarosa}}{1g \text{ de sacarosa}}\right) = \frac{1898.0mg \text{ sacarosa}}{kg \text{ solución}} = 1898.0 \text{ ppm}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.104 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 30: Determinación de concentración promedio por muestra de sacarosa a partir de °Z

$$promedio = \frac{(1898.0 + 1924.0)ppm}{2} = 1911.00ppm$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.105 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 31: Determinación de la incertidumbre para la concentración promedio por muestra de sacarosa

$$Incertidumbre = 1911ppm * \sqrt{\left(\frac{0.01 \text{ } ^\circ Z^2}{0.73 \text{ } ^\circ Z}\right)^2 + \left(\frac{0 \text{ mg sacarosa}}{2600 \text{ mg sacarosa}}\right)^2} = 26.18ppm$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.105 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 32: Cálculo de la masa determinada por el cromatógrafo de sacarosa

$$Masa \text{ determinada de sacarosa (g)} = \text{Altura pico sacrosa} * FR (g)$$

$$Masa \text{ determinada de sacarosa (g)} = 2.428 * 0.07402g$$

$$Masa \text{ determinada de sacarosa (g)} = 0.1797g$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.106 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 33: Determinación de la incertidumbre para la masa determinada de sacarosa

$$Incertidumbre = 0.1797g * \sqrt{\left(\frac{0.001^2}{2.248}\right)^2 + \left(\frac{0 \text{ g sacarosa}}{0.1797g \text{ sacarosa}}\right)^2} = 7.4 \times 10^{-5}g \text{ de sacarosa}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.106 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 34: Cálculo del porcentaje de sacarosa contenido en la muestra

$$Porcentaje \text{ de sacarosa} = 100 * \left(\frac{\text{masa determinada de sacarosa (g)}}{\text{masa de muestra (g)}}\right)$$

$$Porcentaje \text{ de sacarosa} = 100 * \left(\frac{0.1797g \text{ de sacarosa}}{100g \text{ de muestra}}\right)$$

$$Porcentaje \text{ de sacarosa} = 0.1797 \%$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.106 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 35: Conversión de porcentaje de sacarosa a partes por millón

$$\left(\frac{0.1797g \text{ de sacarosa}}{100g \text{ de muestra}}\right) * \left(\frac{1000mg \text{ sacarosa}}{1g \text{ sacarosa}}\right) * \left(\frac{1000g \text{ solución}}{1kg \text{ de solución}}\right) = 1,797.18 \text{ ppm de sacarosa}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.106 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 36: Determinación de la incertidumbre para la masa determinada de sacarosa

$$\text{Incertidumbre} = 1,797.18ppm * \sqrt{\left(\frac{0}{10,000}\right)^2 + \left(\frac{7.4 \times 10^{-5}g}{0.1797g \text{ sacarosa}}\right)^2} = 0.74ppm$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.106 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 37: Determinación de la diferencia entre la dimensión real y la de diseño del Parshall (tanto de patio como de fábrica)

$$\text{Diferencia (m)} = |\text{Medida de diseño (m)} - \text{Medida real (m)}|$$

$$\text{Diferencia (m)} = |(0.92 - 0.90)| \pm 0.01m$$

$$\text{Diferencia (m)} = 0.02 \pm 0.01m$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.107 y 109, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 38: Determinación del porcentaje de variación entre la dimensión real y la de diseño del Parshall con relación a la dimensión de diseño (tanto de patio como de fábrica)

$$\text{Porcentaje de variación} = \frac{\text{Diferencia (m)}}{\text{Medida de diseño (m)}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de variación} = \frac{0.02 \pm 0.01m}{0.92 \pm 0.01m} * 100$$

$$\text{Porcentaje de variación} = 1.64\%$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.107 y 109, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 39: Determinación del porcentaje de sumergencia en las mediciones del Parshall (tanto de patio como de fábrica)

$$\text{Porcentaje de sumergencia} = \frac{Hb (m)}{Ha (m)} * 100$$

$$\text{Porcentaje de sumergencia} = \frac{0.12 \pm 0.001m}{0.23 \pm 0.001m} * 100$$

$$\text{Porcentaje de sumergencia} = 52.17\%$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.108 y 110, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 40: Determinación de la incertidumbre para la sumergencia en los canales de Parshall (tanto en el de patio como el de fábrica)

$$\text{Incertidumbre} = 52.17\% * \sqrt{\left(\frac{0.01m^2}{0.12m}\right)^2 + \left(\frac{0.01m^2}{0.23m}\right)^2} = 4.90\%$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.108 y 110, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 41: Conversión de telada corta de molienda a telada métrica

$$19,450.15t \left(\frac{0.907185 \text{ Tm}}{1 t}\right) = 17,644.88 \text{ Ton}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.111 y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 42: Cálculo de pérdidas de azúcar en el Parshall (tanto de patio como de fábrica)

$$\begin{aligned} & \left(0.70 \frac{m^3 \text{ sol}}{s}\right) * \left(338 \frac{mg \text{ sx}}{kg \text{ sol}}\right) * \left(\frac{1000 L \text{ sl}}{1m^3 \text{ sol}}\right) * \left(\frac{1kg \text{ sl}}{1L \text{ sol}}\right) * \left(\frac{1g \text{ sx}}{1000mg \text{ sx}}\right) * \left(\frac{1kg \text{ sx}}{1000g \text{ sx}}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) \\ & * \left(\frac{24h}{1 \text{ día}}\right) = 20,354.63 \text{ kg } \underline{\text{sacarosa}} \\ & \qquad \qquad \qquad \text{1 día} \qquad \qquad \qquad \text{día} \end{aligned}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.112 y 113, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 43: Cálculo de pérdidas de azúcar en el Parshall (tanto de patio como de fábrica)

$$\frac{20,354.63 \frac{kg \text{ sacarosa}}{día}}{17,644.88 \frac{Ton \text{ sacarosa}}{día}} = 1.15 \frac{kg}{Ton \text{ aña}}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.112 y 113, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 44: Cálculo de caudal por el método de alturas y velocidades usando la metodología de ensayo

ING.-MM004

$$Caudal = (0.27m * 2.746m) * \left(\frac{4.486m}{2.74s} \right) * \left(\frac{3600s}{1h} \right) = 4,296.86 \frac{m^3}{h}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.113 y 114, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 45: Determinación de la incertidumbre para el caudal determinado por el método de alturas y

velocidades usando la metodología de ensayo ING.-MM004

$$Incertidumbre = 4,296.86 \frac{m^3}{h} * \sqrt{\left(\frac{0.09 \frac{m^3}{s}}{1.19_s} \right)^2 + \left(\frac{0s}{3600s} \right)^2} = 326.49 \frac{m^3}{h}$$

Notas: Estos resultados se muestran en el Cuadro No.113 y 114, y se repitió el mismo cálculo para todas las muestras.

Cálculo No. 46: Prueba Q para el rechazo de datos en la validación del método de polarimetría y

cromatografía líquida de alta resolución

$$Q_{exp} = \frac{X_c - X_v}{W}$$

Donde: Xc es el valor crítico, Xv el valor más cercano de la lista de datos a este valor y W el rango entre el valor más grande y más pequeño de la lista de datos.

$$Q_{exp} = \frac{0.24442 - 0.08152}{0.24442 - 0.00462} = 0.6324$$

$$Q_{critico} (99.5\%) = 0.425$$

$$Q_{exp} > Q_{critico} = \text{El dato es rechazado}$$

Cálculo No. 47: Prueba Q para el rechazo de datos en la validación del método de canal de Parshall, analizando el porcentaje de sumergencia

$$Q_{exp} = \frac{X_c - X_v}{W}$$

Donde: X_c es el valor crítico, X_v el valor más cercano de la lista de datos a este valor y W el rango entre el valor más grande y más pequeño de la lista de datos.

$$Q_{exp} = \frac{0.6667 - 0.6333}{0.6667 - 0.3750} = 0.1142$$

$$Q_{critico} (99.5\%) = 0.425$$

$$Q_{exp} > Q_{critico} = \text{El dato es aceptado}$$

c. Datos intermedios

Cuadro No.103: Resultado intermedio del cálculo de la concentración de sacarosa por el método polarimétrico

Día zafra	No. Muestra	Repetición	Concentración de sacarosa (ppm)
65	1	1	1898.0
		2	1924.0
65	2	1	2860.0
		2	2860.0
65	3	1	3588.0
		2	3510.0
65	4	1	3120.0
		2	3120.0
65	5	1	3328.0
		2	3328.0
65	6	1	676.0
		2	650.0
65	7	1	598.0
		2	624.0
65	8	1	520.0
		2	520.0

Continuación de Cuadro No.103: Resultado intermedio del cálculo de la concentración de sacarosa por el método polarimétrico

65	9	1	702.0
		2	650.0
65	10	1	728.0
		2	702.0
121	11	1	364.0
		2	390.0
121	12	1	728.0
		2	728.0
121	13	1	702.0
		2	702.0
121	14	1	676.0
		2	702.0
121	15	1	494.0
		2	468.0
128	16	1	1248.0
		2	1248.0
128	17	1	1274.0
		2	1274.0
128	18	1	1144.0
		2	1118.0
128	19	1	1144.0
		2	1144.0
128	20	1	2418.0
		2	2444.0

Notas; La concentración de sacarosa fue determinada utilizando el cálculo No. 8

Cuadro No.104: Resultado de la incertidumbre para la concentración de sacarosa encontrada por el método polarimétrico

Día zafra	No. Muestra	Promedio sacarosa (ppm)	Incertidumbre (ppm)
65	1	1898.00	26.18
65	2	2860.00	26.00
65	3	3588.00	25.72
65	4	3120.00	26.00
65	5	3328.00	26.00
65	6	676.00	25.50
65	7	598.00	26.57
65	8	520.00	26.00
65	9	702.00	25.04
65	10	728.00	25.54
121	11	364.00	26.93
121	12	728.00	26.00
121	13	702.00	26.00
121	14	676.00	26.50

Continuación de Cuadro No.104: Resultado de la incertidumbre para la concentración de sacarosa encontrada por el método polarimétrico

Día zafra	No. Muestra	Promedio sacarosa (ppm)	Incertidumbre (ppm)
121	15	494.00	25.32
128	16	1248.00	26.00
128	17	1274.00	26.00
128	18	1144.00	25.70
128	19	1144.00	26.00
128	20	2431.00	26.14

Notas: La incertidumbre para la concentración de sacarosa fue determinada utilizando el cálculo No. 10

Cuadro No.105: Resultados intermedios para la determinación de concentración de sacarosa por medio del método de cromatografía líquida de alta resolución

No. Muestra	HPLC (ppm)	Incertidumbre (ppm)	Altura de pico sacarosa	Factor de respuesta sacarosa	Masa determinada sacarosa (g)	Incertidumbre (g)	% Sacarosa
1	1797.18	0.74	2.4280	0.0740	0.1797	7.402E-05	17.97%
2	2763.12	0.74	3.7330	0.0740	0.2763	7.402E-05	27.63%
3	3451.50	0.74	4.6630	0.0740	0.3451	7.402E-05	34.51%
4	2991.10	0.74	4.0410	0.0740	0.2991	7.402E-05	29.91%
5	3255.35	0.74	4.3980	0.0740	0.3255	7.402E-05	32.55%
6	635.08	0.74	0.8580	0.0740	0.0635	7.402E-05	6.35%
7	484.08	0.74	0.6540	0.0740	0.0484	7.402E-05	4.84%
8	412.28	0.74	0.5570	0.0740	0.0412	7.402E-05	4.12%
9	680.97	0.74	0.9200	0.0740	0.0681	7.402E-05	6.81%
10	743.15	0.74	1.0040	0.0740	0.0743	7.402E-05	7.43%
11	302.95	0.76	0.3980	0.0761	0.0303	7.612E-05	3.03%
12	748.25	0.76	0.9830	0.0761	0.0748	7.612E-05	7.48%
13	698.77	0.76	0.9180	0.0761	0.0699	7.612E-05	6.99%
14	692.68	0.76	0.9100	0.0761	0.0693	7.612E-05	6.93%
15	523.70	0.76	0.6880	0.0761	0.0524	7.612E-05	5.24%
16	1213.04	0.74	1.6380	0.0741	0.1213	7.406E-05	12.13%
17	1256.73	0.74	1.6970	0.0741	0.1257	7.406E-05	12.57%
18	1076.78	0.74	1.4540	0.0741	0.1077	7.406E-05	10.77%
19	1125.65	0.74	1.5200	0.0741	0.1126	7.406E-05	11.26%
20	2295.74	0.74	3.1000	0.0741	0.2296	7.406E-05	22.96%

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 11 al 15.

Cuadro No.106: Datos de diferencia y porcentaje de error de las dimensiones del canal de Parshall de patio

Símbolo	Definición	Diferencia diseño vs real (±0.01m)	Porcentaje de variación (%)
W	Ancho de garganta	0.02	1.64%
A	Longitud de pared sección convergente	0.03	1.64%
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	0.02	1.61%
B	Longitud sección convergente	0.02	1.52%
C	Ancho de salida	0.08	6.56%
D	Ancho de entrada	0.07	4.58%
E	Profundidad total	0.12	6.52%
T	Longitud de garganta	0.02	3.28%
G	Longitud sección divergente	0.02	1.64%
H	Longitud de pared sección divergente	0.03	2.98%

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 16 al 17

Cuadro No.107: Datos de sumergencia para las mediciones realizadas en el canal de Parshall de patio

No.	Porcentaje de sumergencia (%)	Incertidumbre (%)
1	52.17%	4.90%
2	39.29%	3.84%
3	50.00%	4.66%
4	50.00%	4.30%
5	43.33%	3.63%
6	51.85%	4.17%
7	50.00%	3.49%
8	57.14%	4.11%
9	55.00%	5.71%
10	56.00%	4.58%
11	51.72%	3.88%
12	63.33%	3.95%
13	53.33%	3.78%
14	66.67%	3.64%
15	44.00%	4.37%
16	37.50%	4.45%
17	54.29%	5.42%
18	47.62%	5.27%
19	50.00%	5.08%
20	58.33%	4.82%

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 18 al 19.

Cuadro No.108: Datos de diferencia y porcentaje de error de las dimensiones del canal de Parshall de fábrica

Símbolo	Definición	Diferencia diseño vs real (±0.01m)	Porcentaje de variación (%)
W	Ancho de garganta	0.01	0.54%
A	Longitud de pared sección convergente	0.05	2.91%
a	Distancia del inicio de la garganta al punto de medición	0.03	2.88%
B	Longitud sección convergente	0.03	2.08%
C	Ancho de salida	0.02	1.67%
D	Ancho de entrada	0.06	4.11%
E	Profundidad total	0.16	7.57%
T	Longitud de garganta	0.22	26.51%
G	Longitud sección divergente	0.02	1.61%
H	Longitud de pared sección divergente	0.04	4.37%
M	Longitud de transición de entrada	0.04	7.14%

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 16 al 17

Cuadro No.109: Datos de sumergencia para las mediciones realizadas en el canal de Parshall de fábrica

No.	Porcentaje de sumergencia (%)	Incertidumbre (%)
1	58.06%	3.73%
2	47.22%	3.07%
3	56.25%	3.59%
4	52.94%	3.33%
5	76.32%	3.31%
6	57.14%	3.29%
7	57.50%	2.88%
8	55.56%	3.18%
9	60.71%	4.18%
10	60.61%	3.54%
11	56.76%	3.11%
12	65.79%	3.15%
13	68.42%	3.19%
14	73.17%	3.02%
15	51.52%	3.41%
16	46.88%	3.45%
17	62.07%	4.06%
18	48.28%	3.83%
19	43.33%	3.63%
20	50.00%	3.49%

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 18 al 19.

Cuadro No.110: Datos de molienda para los días de zafra 121 al 130 de la zafra 2017 - 2018

Día de zafra	Molienda total (t)	Molienda total (t)
121	19450.15	17644.88
122	17898.89	16237.60
123	19191.46	17410.20
124	18788.9	17045.01
125	19109.38	17335.74
126	19602.69	17783.27
127	18989.68	17227.15
128	16163.13	14662.95
129	19795.72	17958.38
130	19175.56	17395.78

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con el cálculo 20.

Cuadro No.111: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de patio en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18

Día de zafra	Pérdidas de azúcar (kg/día)	Pérdidas de azúcar (kg/T caña)
121	20354.63	1.15
121	54344.91	3.08
121	28870.73	1.64
121	12615.78	0.71
122	16762.64	1.03
122	35919.94	2.21
122	42160.44	2.60
122	23775.90	1.46
123	18719.25	1.08
123	22077.62	1.27
123	35663.85	2.05
123	26617.59	1.53
124	21655.30	1.27
124	15527.12	0.91
124	31130.61	1.83
124	18788.89	1.10
125	14091.67	0.81
125	30238.79	1.74
125	15796.68	0.91
125	11645.34	0.67
126	21599.14	1.21
126	15839.37	0.89
126	31130.61	1.75

Continuación de Cuadro No.111: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de patio en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18

126	4043.52	0.23
127	35919.94	2.09
127	21996.75	1.28
127	29329.00	1.70
127	31400.18	1.82
128	17297.28	1.18
128	49492.68	3.38
128	9165.31	0.63
128	9738.14	0.66
129	6065.28	0.34
129	12615.78	0.70
129	8019.65	0.45
129	12108.10	0.67
130	13586.23	0.78
130	10827.65	0.62
130	13163.90	0.76
130	14367.97	0.83

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 21 al 22.

Cuadro No.112: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de fábrica en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18

Día de zafra	Pérdidas de azúcar (kg/día)	Pérdidas de azúcar (kg/t caña)
121	16039.30	0.91
121	27069.12	1.53
121	27675.65	1.57
121	24440.83	1.39
121	16039.30	0.91
121	11645.34	0.66
122	13747.97	0.85
122	31054.23	1.91
122	33565.71	2.07
122	35542.54	2.19
122	12602.30	0.78
122	16612.13	1.02
123	26202.01	1.50
123	29933.28	1.72
123	33565.71	1.93
123	42227.83	2.43
123	36876.90	2.12
123	21385.73	1.23
124	32995.12	1.94
124	14893.63	0.87
124	24440.83	1.43
124	16241.47	0.95
124	9850.46	0.58
124	32590.77	1.91

Continuación de Cuadro No.112: Pérdidas de azúcar determinadas en el Parshall de fábrica en los días 121 – 130 de la zafra 2017-18

125	34648.47	2.00
125	22486.46	1.30
125	30083.79	1.74
125	21385.73	1.23
125	14075.94	0.81
125	10310.98	0.59
126	21621.60	1.22
126	31400.18	1.77
126	16039.30	0.90
126	13747.97	0.77
126	11910.41	0.67
126	10827.65	0.61
127	14893.63	0.86
127	22149.50	1.29
127	10827.65	0.63
127	16623.36	0.96
127	12972.96	0.75
127	21349.79	1.24
128	8019.65	0.55
128	55564.70	3.79
128	27495.94	1.88
128	13175.14	0.90
128	23677.06	1.61
129	20756.74	1.16
129	5319.48	0.30
129	23677.06	1.32
129	13747.97	0.77
129	15275.52	0.85
129	16039.30	0.89
130	20572.53	1.18
130	16803.07	0.97
130	10310.98	0.59
130	25231.56	1.45
130	38314.60	2.20
130	21385.73	1.23

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 21 al 22.

Cuadro No.113: Datos intermedios para el cálculo de caudal por el método de velocidades y alturas posterior al mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica (ING.-MM004)

Corrida No.	Tiempo promedio ($\pm 0.18s$)	Altura ($\pm 0.01m$)	Área (m^2)	Incertidumbre (m^2)	Velocidad (m/s)	Incertidumbre (m/s)	Caudal (m^3/s)	Incertidumbre (m^3/s)	Caudal (m^3/h)	Incertidumbre (m^3/h)
1	2.74	0.27	0.73	0.03	1.64	0.11	1.19	0.09	4296.86	326.49
2	2.14	0.24	0.66	0.03	2.10	0.18	1.38	0.13	4985.12	469.30
3	2.47	0.27	0.73	0.03	1.82	0.13	1.32	0.11	4757.86	390.98
4	2.43	0.27	0.73	0.03	1.85	0.14	1.35	0.11	4846.15	404.06
5	2.43	0.27	0.73	0.03	1.85	0.14	1.35	0.11	4846.15	404.06
6	2.39	0.27	0.73	0.03	1.88	0.14	1.37	0.12	4917.11	414.74
7	2.31	0.27	0.74	0.03	1.95	0.15	1.44	0.12	5194.64	449.51
8	2.48	0.27	0.73	0.03	1.81	0.13	1.32	0.11	4748.24	389.57

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 23 al 24.

Cuadro No.114: Datos intermedios para el cálculo de caudal por el método de velocidades y alturas posterior al mantenimiento del canal de entrada y su sonda electrónica (ING.-MM004)

Corrida No.	Tiempo promedio ($\pm 0.18s$)	Altura ($\pm 0.01m$)	Área (m ²)	Incertidumbre (m ²)	Velocidad (m/s)	Incertidumbre (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Incertidumbre (m ³ /s)	Caudal (m ³ /h)	Incertidumbre (m ³ /h)
1	5.5	0.28	0.77	0.03	0.82	0.03	0.63	0.03	2257.66	109.79
2	5.06	0.24	0.66	0.03	0.89	0.03	0.58	0.03	2103.41	115.59
3	5.68	0.27	0.74	0.03	0.79	0.03	0.59	0.03	2109.89	103.28
4	5.3	0.26	0.71	0.03	0.85	0.03	0.6	0.03	2175.5	112.01
5	5.1	0.26	0.71	0.03	0.88	0.03	0.63	0.03	2263.04	118.58
6	5.45	0.27	0.74	0.03	0.82	0.03	0.61	0.03	2197	109.43
7	5.35	0.27	0.74	0.03	0.84	0.03	0.62	0.03	2240.16	112.55
8	5.5	0.27	0.74	0.03	0.82	0.03	0.6	0.03	2177.02	108

Notas: Los datos anteriores fueron calculados con los cálculos del No. 23 al 24.

3. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de fábrica

a. Guías y manuales

i. Metodologías de ensayo

1. Metodología de determinación de azúcar por medio de polarimetría (STA.ANA.-MM001). Realizado por, Diego Alberto Grajeda Caballeros, Versión 1.

Objetivo

Establecer un método apropiado para la determinación de la concentración de una muestra de azúcar proveniente de un efluente o corriente en el ingenio azucarero por medio del método polarimétrico.

Alcance

Es aplicado a efluentes y afluentes que puedan contener sacarosa y requieran ser cuantificadas dentro de un ingenio azucarero.

Reactivos

Octapol (Reactivo clarificante)

Equipo

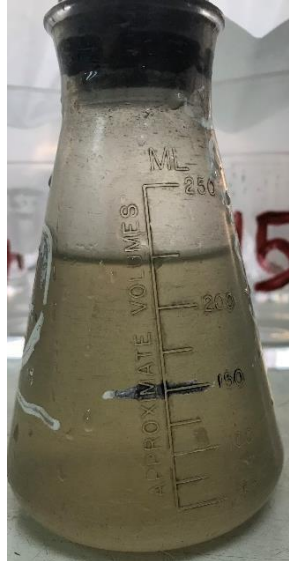
- a. Frasco para almacenar muestras
- b. Balde con agua y hielo
- c. Papel filtro (Ahlstrom, EWS-609, 18.5cm)
- d. Matraz
- e. Termómetro electrónico ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
- f. Embudo plástico
- g. Beaker / vaso
- h. Polarímetro

Figura No.97: Fotografía del equipo utilizado para la medición de concentración por el método polarimétrico.



Metodología

- a. Tomar un volumen de muestra entre 125ml a 250ml y trasvasarlo al matraz.



- b. Agregar entre 5g y 10g de octapol para clarificar la muestra.



- c. Realizar una agitación mecánica de aproximadamente 30 segundos para homogeneizar y clarificar la muestra.
- d. Tomar un filtro de papel y colocarlo sobre el embudo. Para recibir la muestra se utilizará un beaker o un vaso.

- a. Descartar los primeros 5ml del filtrado.



- e. Separar el filtrado y colocarlo dentro del balde con agua y hielo para enfriar la muestra hasta 20°C.



- f. Analizar la muestra en el polarímetro dejando caer en el equipo aproximadamente 30ml por corrida.



- g. Realizar un lavado del equipo con agua desmineralizada y llevar el equipo a 0.00°Z antes de realizar cada medición.



- h. Determinar el resultado hasta que se mantenga constante en la pantalla del equipo.



- i. Utilizar el “Cálculo No. 27” para determinar la concentración de azúcar en partes por millón (ppm)

b. Datos originales

Cuadro No.115: Resultados cualitativos de flujos en cada uno de los efluentes de las tuberías del ingenio azucarero.

No. Tubería	Descripción de tubería mapeada	27/01/18 (día 74 de zafra)	03/02/18 (día 81 de zafra)	17/02/18 (día 95 de zafra)
		Flujo (SI/NO)	Flujo (SI/NO)	Flujo (SI/NO)
1	Condensados de los calentadores de jugo	SÍ	SÍ	SÍ
2	Drenaje de aguas para enfriamiento de los cristalizadores	SÍ	SÍ	SÍ
3	Agua de enfriamiento para bandeja de cristalizadores	SÍ	SÍ	SÍ
4	Rebalse de tanque de agua de recirculación	SÍ	SÍ	SÍ
5	Agua del lavado de telas directa	NO	NO	NO
6	Rebalse de tanque de agua de lavado de telas	NO	NO	NO
7	Rebalse tanque de agua fría No.2	NO	NO	NO
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación	SÍ	SÍ	SÍ
9	Rebalse tanque sifón No. 4	SÍ	SÍ	SÍ
10	Drenaje bajo secadora No. 2	NO	NO	NO
11	Rebalse y purga de tanque de condensados de secadora 1 y 2	SÍ	SÍ	SÍ
12	Drenaje de área de fajas del 3er nivel	NO	NO	NO
13	Drenaje de tubería tanque sello condensadores tachos	SÍ	SÍ	SÍ
14	Drenaje de tubería de agua de enfriamiento para bombas nash del tacho continuo	SÍ	SÍ	SÍ
15	Rebalse del tanque de granza primer nivel	NO	NO	NO
16	Drenaje del tercer nivel sector de enfriadora	NO	NO	NO
17	Tubería del drenaje de área fajas crudo, vhp y estándar	NO	NO	NO
18	Drenaje Recibidor de masa C-1 y rebalse de Sifón de condensados tachos 10 y 12	SÍ	SÍ	SÍ
19	Drenaje de tanque sello condensadores tacho 7, 8, 9 y 10	SÍ	SÍ	SÍ
20	Alivio de tubería de condensados de calandria tachos 7, 8 y 9	SÍ	SÍ	SÍ
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración	SÍ	SÍ	SÍ
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería	SÍ	SÍ	SÍ
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento	SÍ	SÍ	SÍ
24	Drenaje piso 3er nivel	SÍ	SÍ	SÍ
25	Drenaje línea general de atmosfera de evaporadores	SÍ	SÍ	SÍ
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría No.2	SÍ	SÍ	SÍ
27	Agua de enfriamiento para bombas de vacío de filtros rotativos	SÍ	SÍ	SÍ
28	Drenaje filtro rotativo No.7 y bandeja de reSÍduos de cachaza	SÍ	SÍ	SÍ
29	Agua de salida de condensadores barométricos.	SÍ	SÍ	SÍ

Continuación de Cuadro No.115: Resultados cualitativos de flujos en cada uno de los efluentes de las tuberías del ingenio azucarero.

30	Drenaje de la banda de cachaza	NO	NO	NO
31	Limpieza de banda de conducción de cachaza	SÍ	SÍ	SÍ
32	Tubería de liquidación de charola de filtros.	NO	NO	NO
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores.	SÍ	SÍ	SÍ
34	Rebalse tanque cachazón	NO	NO	NO
35	Purga tanque cachazón	NO	NO	NO
36	Bandeja de reSÍduos de cachaza de filtros rotativos	SÍ	SÍ	SÍ
37	Agua de calentadores A y B	NO	NO	NO
38	Agua de enfriamiento de horNos de azúcar	NO	NO	NO
39	Drenaje de área de Sulfitación.	NO	NO	NO
40	Desagüe de agua de lluvia	NO	NO	NO
41	Desagüe de lluvia	NO	NO	NO
42	Drenaje de calentador de jugo	NO	NO	NO
43	Drenaje de clarificador 6	NO	NO	NO
44	Drenaje de líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B	SÍ	SÍ	SÍ
45	Rebalses agua de refinería 1.	NO	NO	NO
46	Rebalses agua de refinería 2.	NO	NO	NO
47	Rebalses agua de refinería 3.	SÍ	SÍ	SÍ
48	Drenaje de evaporadores 8 y 9	NO	NO	NO
49	Drenaje del Chiller final refinería	NO	NO	NO

Nota: el Cuadro No 115 representa un análisis cualitativo realizado a cada una de las tuberías en los tre diferentes días de muestreo. Se coloca "SÍ" en aquellas tuberías que Sí presentaban un caudal. "NO" se coloca en aquellas tuberías que No se encontró nada. La tubería 44 está marcada con una "X" debido a que conduce vapor y No es posible muestrearla.

Cuadro No.116: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.

No. Tubería	Volumen (± 0.10 L)	Tiempo (± 0.16 s)	Pol (± 0.01 °Z)
1	0.86	3.01	0.00
2	0.86	2.32	0.00
3	0.86	4.43	0.00
4	0.86	1.65	0.00
8	0.86	2.32	0.00
9	0.86	7.41	0.00
11	0.86	5.44	0.00
13	0.86	4.60	0.00
14	0.86	17.20	0.00
18	0.86	13.07	0.00

Continuación Cuadro No.116: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.

No. Tubería	Volumen (± 0.10 L)	Tiempo (±0.16 s)	Pol (±0.01 °Z)
19	0.86	9.05	0.00
20	0.86	15.01	0.00
21	0.18	10.20	0.58
22	0.86	15.47	17.07
23	0.86	21.61	0.47
24	0.86	1.41	0.00
25	0.86	39.09	0.00
26	0.86	2.46	0.00
27	0.86	2.17	0.00
28	0.86	1.16	0.00
29	5.00	1.42	0.00
31	5.00	3.19	0.00
33	0.86	12.29	22074.00
36	5.00	9.75	0.00
44	X	X	X
47	0.86	53.75	0.00

Nota: el Cuadro No.116 contiene los tiempos que tomaron cada uno de los efluentes en llenar un volumen conocido. La tubería 44 está marcada con una "X" debido a que contenía vapor.

Cuadro No.117: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 03 de febrero de 2018.

No. Tubería	Volumen (± 0.10 L)	Tiempo (± 0.16 s)	Pol (± 0.01 °Z)
1	0.86	2.85	0.00
2	0.86	2.55	0.00
3	0.86	4.67	0.00
4	0.86	1.81	0.00
8	0.86	2.25	0.00
9	0.86	7.59	0.00
11	0.86	6.01	0.00
13	0.86	4.50	0.00
14	0.86	17.05	0.00
18	0.86	13.56	0.00
19	0.86	8.59	0.00
20	0.86	15.19	0.00
21	0.18	11.21	0.79
22	0.86	17.46	15.40
23	0.86	23.79	0.26
24	0.86	1.42	0.00
25	0.86	40.80	0.00
26	0.86	2.33	0.00
27	0.86	2.28	0.00
28	0.86	1.12	0.00
29	5.00	1.48	0.00
31	5.00	3.12	0.00
33	0.86	10.89	0.00
36	5.00	9.73	0.00
44	X	X	X
47	0.86	56.58	0.00

Nota: el Cuadro No.117 contiene los tiempos que tomaron cada uno de los efluentes en llenar un volumen conocido. La tubería 44 está marcada con una "X" debido a que contenía vapor.

Cuadro No.118: Datos de tiempos, volúmenes y concentraciones obtenidos por número de tubería el 17 de febrero de 2018.

No. Tubería	Volumen (± 0.10 L)	Tiempo (± 0.16 s)	Pol (± 0.01 °Z)
1	0.86	3.28	0.00
2	0.86	2.39	0.00
3	0.86	4.55	0.00
4	0.86	1.58	0.00
8	0.86	2.26	0.00
9	0.86	7.54	0.00
11	0.86	5.16	0.00
13	0.86	4.21	0.00
14	0.86	18.40	0.00
18	0.86	12.33	0.00
19	0.86	9.62	0.00
20	0.86	16.51	0.00
21	0.18	13.22	0.52
22	0.86	14.74	15.97
23	0.86	24.97	0.36
24	0.86	1.28	0.00
25	0.86	38.14	0.00
26	0.86	2.57	0.00
27	0.86	2.09	0.00
28	0.86	1.34	0.00
29	5.00	1.42	0.00
31	5.00	3.25	0.00
33	0.86	13.44	0.00
36	5.00	9.48	0.00
44	X	X	X
47	0.86	49.49	0.00

Nota: el Cuadro No.118 contiene los tiempos que tomaron cada uno de los efluentes en llenar un volumen conocido. La tubería 44 está marcada con una "X" debido a que contenía vapor.

Cuadro No.119: Datos de concentraciones de pérdidas identificadas de forma alterna dentro de la fábrica.

Fecha	Descripción de medición alterna	Pol (± 0.01 °Z)
03/03/2018	Reja salida de refinera primer nivel	0.51
03/03/2018	Bombas de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23752)	36.20
03/03/2018	Bombas de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23752)	24.50
03/03/2018	Bombas de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23752)	22.15
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23664)	23.10
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23664)	24.50
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23664)	22.15
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23712)	78.57
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23712)	78.21
03/03/2018	Bomba de jugos mezclados hacia clarificadores (serial 23712)	77.51
24/03/2018	Canaleta previa a tubería 10 (antes de juntarse con el canal de bombas)	0.01
24/03/2018	Canaleta previa a tubería 10 (antes de juntarse con el canal de bombas)	0.01
24/03/2018	Canaleta previa a tubería 10 (antes de juntarse con el canal de bombas)	0.01
24/03/2018	Canaleta tubería 11 (después de juntarse con canal de bombas)	0.46
24/03/2018	Canaleta tubería 11 (después de juntarse con canal de bombas)	0.40
24/03/2018	Canaleta tubería 11 (después de juntarse con canal de bombas)	0.59

Nota: el Cuadro No.119 contiene los resultados polarimétricos de muestras adicionales que se tomaron dentro de la fábrica, estas eran de derrames de bombas de jugo o bombas de magma.

c. Cálculos

Cálculo No. 48: “ConverSión de °Z a ppm para las muestras de efluentes de azúcar”

$$\text{Concentración de azúcar en ppm} = \text{Lectura del polarímetro (°Z)} * 2600$$

Cálculo No. 49: “Cálculo de caudal para cada tubería en base al tiempo y volumen obtenido en la muestra original”

$$q_L = \frac{V_L}{t_s}$$

Donde:

- q = caudal
- V = volumen
- t = tiempo

Ejemplo:

$$q_L = \frac{0.860L}{3.01s} = 0.29 \frac{L}{s}$$

Este mismo cálculo se realizó para todos los caudales obtenidos en las tuberías medidas.

Cálculo No. 50: “ConverSión de °Z de polarimetría a ppm (mg/L)”

$$PPM_{mg} = pol_{°Z} \left(\frac{2.6g}{1°Z} \right) \left(\frac{1000mg}{1g} \right)$$

Donde:

- PPM = concentración de sacarosa en mg/L
- Pol = resultado de polarimetría obtenido por el equipo de medición.

Ejemplo:

$$PPM_{mg} = 0.58_{°Z} \left(\frac{2.6g}{1°Z} \right) \left(\frac{1000mg}{1g} \right) = 1,516.66 \frac{mg}{L}$$

Este mismo cálculo se realizó para la converSión de todos los datos obtenidos por el equipo de polarimetría y poder hallar la concentración en mg/L.

Cálculo No. 51: “Corrección de concentración de sacarosa en PPM por método de HPLC”

$$PPM_{\frac{mg}{L}} = PPM_{\frac{mg}{L}}(0.955) + 29.229$$

Ejemplo:

$$PPM_{\frac{mg}{L}} = 1,516.66_{\frac{mg}{L}}(0.955) + 29.229 = 1,477.64_{\frac{mg}{L}}$$

Este mismo cálculo se realizó para ajustar todos los datos obtenidos por el método de polarimetría y corregirlos a los valores adecuados según el método de HPLC.

Cálculo No. 52 “Cálculo de pérdida de masa de azúcar en base a la concentración y el caudal”

$$\underline{m_{kg}} = q_L * PPM_{\frac{mg}{L}} \left(\frac{1g}{1,000mg} \right) \left(\frac{1kg}{1,000g} \right) \left(\frac{3,600s}{1h} \right)$$

Donde:

○ m_i = flujo de azúcar perdido en el tiempo en kg/h.

Ejemplo:

$$\underline{m_{kg}} = 0.02_{\frac{L}{s}} * 1,477.65_{\frac{mg}{L}} \left(\frac{1g}{1,000mg} \right) \left(\frac{1kg}{1,000g} \right) \left(\frac{3,600s}{1h} \right) = 0.09_{\frac{kg}{h}}$$

Este mismo cálculo se realizó para obtener el flujo de pérdida de azúcar en cada tubería, en base al caudal y la concentración hallada.

Cálculo No. 53 “Conversión de flujo másico en kg/h a lb/h”

$$\underline{m_{lb}} = \underline{m_{kg}} \left(\frac{2.173913lb}{1kg} \right)$$

Ejemplo:

$$m_i = 0.09_{\frac{kg}{h}} \left(\frac{2.173913lb}{1kg} \right) = 0.20_{\frac{lb}{h}}$$

Se utilizó esta conversión para trasladar el flujo másico de pérdida de kg/h a lb/h para todos los datos.

Cálculo No. 54 “Obtención de libras de azúcar perdidas por telada de caña molida en un día específico.”

$$TC \frac{lb}{ton \text{ caña}} = \frac{\frac{m_{lb}}{h}}{\frac{lb \text{ molidas de caña}}{24 h}}$$

Donde:

- TC= libras de azúcar por telada de caña.

Ejemplo:

$$TC \frac{lb}{ton \text{ caña}} = \frac{0.20 \frac{lb}{h}}{\frac{19,023.07}{24 h}} = 2.6 * 10^{-4} \frac{lb}{ton \text{ caña}}$$

Este mismo cálculo se realizó para obtener la pérdida de azúcar en una tubería en lb/t caña. Es importante mencionar que las teladas de caña molida al día varían según el día de zafra. El dato lo reporta directamente el ingenio.

Cálculo No. 55 “ConverSión de TC lb/t caña a Kg/t métrica.”

$$TC \frac{kg}{ton \text{ métrica}} = \frac{TC \frac{lb}{ton \text{ caña}}}{\frac{2.173913 lb}{1 kg} * \frac{0.92 ton \text{ métrica}}{1 ton \text{ corta}}} = 1.3 * 10^{-4} \frac{kg}{ton \text{ métrica}}$$

Este cálculo se realizó para la converSión de todos los datos y poder presentarlos en unidades correctas del Sistema internacional.

Cálculo No. 56 “Incertidumbre de los caudales obtenidos”

$$Incertidumbre \frac{q_L}{s} = \frac{q_L}{s} * \sqrt{\left(\frac{incertidumbre \text{ de } L^2}{L}\right)^2 + \left(\frac{incertidumbre \text{ de } t^2}{t}\right)^2}$$

Donde:

- $Incertidumbre \frac{q_L}{s}$ = incertidumbre de los caudales obtenidos.
- $incertidubre \text{ de } L$: incertidumbre teórica del equipo utilizado para obtener los volúmenes.
- $incertidumbre \text{ de } t$: incertidumbre teórica del equipo utilizado para obtener los tiempos.

Ejemplo:

$$Incertidumbre \frac{q_L}{s} = 0.02 \frac{L}{s} * \sqrt{\left(\frac{0.01^2}{0.18}\right)^2 + \left(\frac{0.16^2}{10.20}\right)^2} = \pm 1.0 * 10^{-3} \frac{L}{s}$$

Este cálculo se utilizó para la obtención de incertidumbre de todos los caudales calculados.

Cálculo No. 57 “Incertidumbre de PPM con corrección de HPLC”

$$\text{Incertidumbre } \frac{PPM_{mg}}{L} = \frac{PPM_{mg}}{L} * \sqrt{\left(\frac{3.34\%}{\frac{PPM_{mg}}{L}}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } \frac{PPM_{mg}}{L} = \frac{1,477.65mg}{L} * \sqrt{\left(\frac{3.34\%}{\frac{1,477.65mg}{L}}\right)^2} = \pm 49.35 \frac{mg}{L}$$

Este cálculo se utilizó para la obtención de incertidumbre de todas las concentraciones en PPM corregidos por el método de HPLC.

Cálculo No. 58 “Incertidumbre del flujo másico obtenido en kg/h”

$$\text{incertidumbre } \frac{\dot{m}_{kg}}{h} = \frac{\dot{m}_{kg}}{h} * \sqrt{\left(\frac{\text{incertidumbre de } \frac{PPM_{mg}}{L}}{PPM_{mg}}\right)^2 + \left(\frac{\text{incertidumbre de } \frac{q_L}{s}}{q_L}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{incertidumbre } \frac{\dot{m}_{kg}}{h} = 0.09 \frac{kg}{h} * \sqrt{\left(\frac{49.35 \frac{mg}{L}}{1,477.65 \frac{mg}{L}}\right)^2 + \left(\frac{1.0 * 10^{-3} \frac{L}{s}}{0.02 \frac{L}{s}}\right)^2} = \pm 0.01 \frac{kg}{h}$$

Este cálculo se utilizó para obtener todas las incertidumbres de los flujos másicos calculados en kg/h.

Cálculo No. 59 “Incertidumbre del flujo másico obtenido en lb/h”

$$\text{incertidumbre } \frac{\dot{m}_{lb}}{h} = \frac{\dot{m}_{lb}}{h} * \sqrt{\left(\frac{\text{incertidumbre de } \frac{m_{kg}}{h}}{m_{kg}}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{incertidumbre } \frac{\dot{m}_{lb}}{h} = 0.20 \frac{lb}{h} * \sqrt{\left(\frac{0.01 \frac{kg}{h}}{0.09 \frac{kg}{h}}\right)^2} = \pm 0.01 \frac{lb}{h}$$

Este cálculo se utilizó para obtener todas las incertidumbres de los flujos másicos calculados en lb/h.

Cálculo No. 60 “Incertidumbre de libras de azúcar pérdida por telada de caña molida en un día específico”

$$incertidumbre TC \frac{lb}{ton \text{ caña}} = TC \frac{lb}{ton \text{ caña}} * \sqrt{\left(\frac{incertidumbre de m \frac{lb}{h}}{m \frac{lb}{h}}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$incertidumbre TC \frac{lb}{ton \text{ caña}} = 2.6 * 10^{-4} \frac{lb}{ton \text{ caña}} * \sqrt{\left(\frac{0.01 \frac{lb}{h}}{0.20 \frac{lb}{h}}\right)^2} = \pm 1.7 * 10^{-5} \frac{lb}{ton \text{ caña}}$$

Este cálculo se utilizó para obtener todas las incertidumbres de las libras calculadas de azúcar pérdida por telada de caña molida para un día específico de la zafra del ingenio azucarero.

Cálculo No. 61 “Incertidumbre de kilogramos de azúcar perdidos por telada métrica de caña molida”

$$incertidumbre TC \frac{kg}{ton \text{ métrica}} = TC \frac{kg}{ton \text{ métrica}} * \sqrt{\left(\frac{incertidumbre TC \frac{lb}{ton \text{ caña}}}{TC \frac{lb}{ton \text{ caña}}}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$incertidumbre TC \frac{kg}{ton \text{ métrica}} = 1.3 * 10^{-4} \frac{kg}{ton \text{ métrica}} * \sqrt{\left(\frac{1.7 * 10^{-5} \frac{lb}{ton \text{ caña}}}{2.6 * 10^{-4} \frac{lb}{ton \text{ caña}}}\right)^2}$$

$$= \pm 8.6 * 10^{-6} \frac{kg}{ton \text{ métrica}}$$

Este cálculo se utilizó para obtener todas las incertidumbres de los kilogramos calculados de azúcar perdidos por telada métrica de caña molida para un día específico de la zafra del ingenio azucarero.

d. Resultados intermedios

Cuadro No.120: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 27 de enero de 2018.

No. tubería	Descripción tubería	concentración (mg/L)	± (mg/L)	caudal (L/s)	± (L/s)
1	Condensados de los calentadores de jugo	0.0E+00	0.0E+00	2.9E-01	1.6E-02
2	Drenaje de aguas para enfriamiento de los cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-01	2.6E-02
3	Agua de enfriamiento para bandeja de cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-01	7.4E-03
4	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	5.2E-01	5.1E-02
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-01	2.6E-02
9	Rebalse tanque sifón No. 4	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-01	2.8E-03
11	Rebalse y purga de tanque de condensados de secadora 1 y 2	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-01	5.0E-03
13	Drenaje de tubería tanque sello condensadores tachos	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-01	6.9E-03
14	Drenaje de tubería de agua de enfriamiento para bombas nash del tacho continuo	0.0E+00	0.0E+00	5.0E-02	7.4E-04
18	Drenaje recibidor de masa C-1 y rebalse de sifón de condensados tachos 10 y 12	0.0E+00	0.0E+00	6.6E-02	1.1E-03
19	Drenaje de tanque sello condensadores tacho 7, 8, 9 y 10	0.0E+00	0.0E+00	9.5E-02	2.0E-03
20	Alivio de tubería de condensados de calandria tachos 7, 8 y 9	0.0E+00	0.0E+00	5.7E-02	9.0E-04
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración	1.5E+03	3.3E-02	1.8E-02	1.0E-03
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería	4.2E+04	3.3E-02	5.6E-02	8.7E-04
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento	1.2E+03	3.3E-02	4.0E-02	5.5E-04
24	Drenaje piso 3er nivel	0.0E+00	0.0E+00	6.1E-01	7.0E-02
25	Drenaje línea general de atmósfera de evaporadores	0.0E+00	0.0E+00	2.2E-02	2.7E-04
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría No.2	0.0E+00	0.0E+00	3.5E-01	2.3E-02
27	Agua de enfriamiento para bombas de vacío de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	4.0E-01	3.0E-02
28	Drenaje filtro rotativo No.7 y bandeja de residuos de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	7.4E-01	1.0E-01
29	Agua de salida condensadores barométricos	0.0E+00	0.0E+00	3.5E+00	4.0E-01
31	Limpieza de banda de conducción de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	1.6E+00	7.9E-02
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores	2.2E+04	3.3E-02	7.0E-02	1.2E-03
36	Bandeja de residuos de cachaza de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	5.1E-01	8.5E-03
44	Drenaje de líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B	X	X	X	X
47	Rebalse agua de refinería 3.	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-02	1.9E-04

Nota: la tubería número 44 está marcada con una "X" debido a que conduce vapor, el cual No fue posible muestrear su caudal y concentración de sacarosa.

Cuadro No.121: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 03 de febrero de 2018.

No. tubería	Descripción tubería	concentración (mg/L)	± (mg/L)	caudal (L/s)	± (L/s)
1	Condensados de los calentadores de jugo	0.0E+00	0.0E+00	3.0E-01	1.7E-02
2	Drenaje de aguas para enfriamiento de los cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	3.4E-01	2.1E-02
3	Agua de enfriamiento para bandeja de cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	1.8E-01	6.7E-03
4	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	4.8E-01	4.3E-02
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	3.8E-01	2.8E-02
9	Rebalse tanque sifón No. 4	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-01	2.7E-03
11	Rebalse y purga de tanque de condensados de secadora 1 y 2	0.0E+00	0.0E+00	1.4E-01	4.2E-03
13	Drenaje de tubería tanque sello condensadores tachos	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-01	7.1E-03
14	Drenaje de tubería de agua de enfriamiento para bombas nash del tacho continuo	0.0E+00	0.0E+00	5.0E-02	7.5E-04
18	Drenaje recibidor de masa C-1 y rebalse de sifón de condensados tachos 10 y 12	0.0E+00	0.0E+00	6.3E-02	1.1E-03
19	Drenaje de tanque sello condensadores tacho 7, 8, 9 y 10	0.0E+00	0.0E+00	1.0E-01	2.2E-03
20	Alivio de tubería de condensados de calandria tachos 7, 8 y 9	0.0E+00	0.0E+00	5.7E-02	8.9E-04
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración	2.0E+03	3.3E-02	1.6E-02	9.2E-04
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería	3.8E+04	3.3E-02	4.9E-02	7.3E-04
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento	6.8E+02	3.3E-02	3.6E-02	4.9E-04
24	Drenaje piso 3er nivel	0.0E+00	0.0E+00	6.1E-01	6.9E-02
25	Drenaje línea general de atmósfera de evaporadores	0.0E+00	0.0E+00	2.1E-02	2.6E-04
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría No.2	0.0E+00	0.0E+00	3.7E-01	2.6E-02
27	Agua de enfriamiento para bombas de vacío de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	3.8E-01	2.7E-02
28	Drenaje filtro rotativo No.7 y bandeja de residuos de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	7.7E-01	1.1E-01
29	Agua de salida condensadores barométricos	0.0E+00	0.0E+00	3.4E+00	3.7E-01
31	Limpieza de banda de conducción de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	1.6E+00	8.2E-02
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-02	1.5E-03
36	Bandeja de residuos de cachaza de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	5.1E-01	8.5E-03
44	Drenaje de líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B	X	X	X	X
47	Rebalses agua de refinería 3.	0.0E+00	0.0E+00	1.5E-02	1.8E-04

Nota: la tubería número 44 está marcada con una "X" debido a que conduce vapor, el cual No fue posible muestrear su caudal y concentración de sacarosa.

Cuadro No.122: Datos de concentraciones en ppm (mg/L) y caudales obtenidos por número de tubería el 17 de febrero de 2018.

No. tubería	Descripción tubería	concentración (mg/L)	± (mg/L)	caudal (L/s)	± (L/s)
1	Condensados de los calentadores de jugo	0.0E+00	0.0E+00	2.6E-01	1.3E-02
2	Drenaje de aguas para enfriamiento de los cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	3.6E-01	2.4E-02
3	Agua de enfriamiento para bandeja de cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-01	7.0E-03
4	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	5.5E-01	5.6E-02
8	Rebalse de tanque de agua de recirculación	0.0E+00	0.0E+00	3.8E-01	2.7E-02
9	Rebalse tanque sifón No. 4	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-01	2.8E-03
11	Rebalse y purga de tanque de condensados de secadora 1 y 2	0.0E+00	0.0E+00	1.7E-01	5.5E-03
13	Drenaje de tubería tanque sello condensadores tachos	0.0E+00	0.0E+00	2.0E-01	8.1E-03
14	Drenaje de tubería de agua de enfriamiento para bombas nash del tacho continuo	0.0E+00	0.0E+00	4.7E-02	6.8E-04
18	Drenaje recibidor de masa C-1 y rebalse de sifón de condensados tachos 10 y 12	0.0E+00	0.0E+00	7.0E-02	1.2E-03
19	Drenaje de tanque sello condensadores tacho 7, 8, 9 y 10	0.0E+00	0.0E+00	8.9E-02	1.8E-03
20	Alivio de tubería de condensados de calandria tachos 7, 8 y 9	0.0E+00	0.0E+00	5.2E-02	7.9E-04
21	Cabezal de drenaje de filtros de licor tratado y 2da filtración	1.3E+03	3.3E-02	1.4E-02	7.7E-04
22	Drenaje de enjuague de tachos de refinería	4.0E+04	3.3E-02	5.8E-02	9.3E-04
23	Drenaje piso 2do nivel refinería bombas de tanques de tratamiento	9.2E+02	3.3E-02	3.4E-02	4.6E-04
24	Drenaje piso 3er nivel	0.0E+00	0.0E+00	6.7E-01	8.4E-02
25	Drenaje línea general de atmósfera de evaporadores	0.0E+00	0.0E+00	2.3E-02	2.8E-04
26	Agua de pozo del hotel hacia tanque elevado de agua fría No.2	0.0E+00	0.0E+00	3.3E-01	2.1E-02
27	Agua de enfriamiento para bombas de vacío de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	4.1E-01	3.2E-02
28	Drenaje filtro rotativo No.7 y bandeja de residuos de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	6.4E-01	7.7E-02
29	Agua de salida condensadores barométricos	0.0E+00	0.0E+00	3.5E+00	4.0E-01
31	Limpieza de banda de conducción de cachaza	0.0E+00	0.0E+00	1.5E+00	7.6E-02
33	Rebalse de condensados de agua de enfriamiento cristalizadores	0.0E+00	0.0E+00	6.4E-02	1.1E-03
36	Bandeja de residuos de cachaza de filtros rotativos	0.0E+00	0.0E+00	5.3E-01	9.0E-03
44	Drenaje de líneas de vapor de calandrias de PRE A y PRE B	X	X	X	X
47	Rebalses agua de refinería 3.	0.0E+00	0.0E+00	1.7E-02	2.1E-04

Cuadro No.123: Caudal, concentración y flujo másico hallado en pérdidas de la tubería 21.

fecha	Caudal (L/s)	± (L/s)	Concentración ppm (mg/L)	± (mg/L)	Masa azúcar (kg/h)	± (Kg/h)	Masa azúcar (lb/h)	± Lb/h
27-ene	0.02	1.0E-03	1477.65	49.35	0.09	6.3E-03	0.20	0.01
03-feb	0.02	9.2E-04	1982.52	66.22	0.11	7.6E-03	0.25	0.02
17-feb	0.01	7.7E-04	1320.39	44.10	0.06	4.3E-03	0.14	0.01

Cuadro No.124: Caudal, concentración y flujo másico hallado en pérdidas de la tubería 22.

fecha	Caudal (L/s)	± (L/s)	Concentración ppm (mg/L)	± (mg/L)	Masa azúcar (kg/h)	± (Kg/h)	Masa azúcar (lb/h)	± Lb/h
27-ene	0.06	8.7E-04	42422.32	1416.91	8.49	0.31	18.46	0.68
03-feb	0.05	7.3E-04	38275.71	1278.41	6.79	0.25	14.76	0.54
17-feb	0.06	9.3E-04	39691.02	1325.68	8.33	0.31	18.12	0.67

Cuadro No.125: Caudal, concentración y flujo másico hallado en pérdidas de la tubería 23.

fecha	Caudal (L/s)	± (L/s)	Concentración ppm (mg/L)	± (mg/L)	Masa azúcar (kg/h)	± (Kg/h)	Masa azúcar (lb/h)	± Lb/h
27-ene	0.04	5.5E-04	1187.96	39.68	0.17	6.1E-03	0.37	0.01
03-feb	0.04	4.9E-04	683.09	22.82	0.09	3.2E-03	0.19	0.01
17-feb	0.03	4.6E-04	923.11	30.83	0.11	4.1E-03	0.25	0.01

Cuadro No.126: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 21.

fecha	Lb/T caña	± Lb/t
27-ene	2.6E-04	1.7E-05
03-feb	3.1E-04	2.1E-05
17-feb	1.8E-04	1.2E-05

Cuadro No.127: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 22.

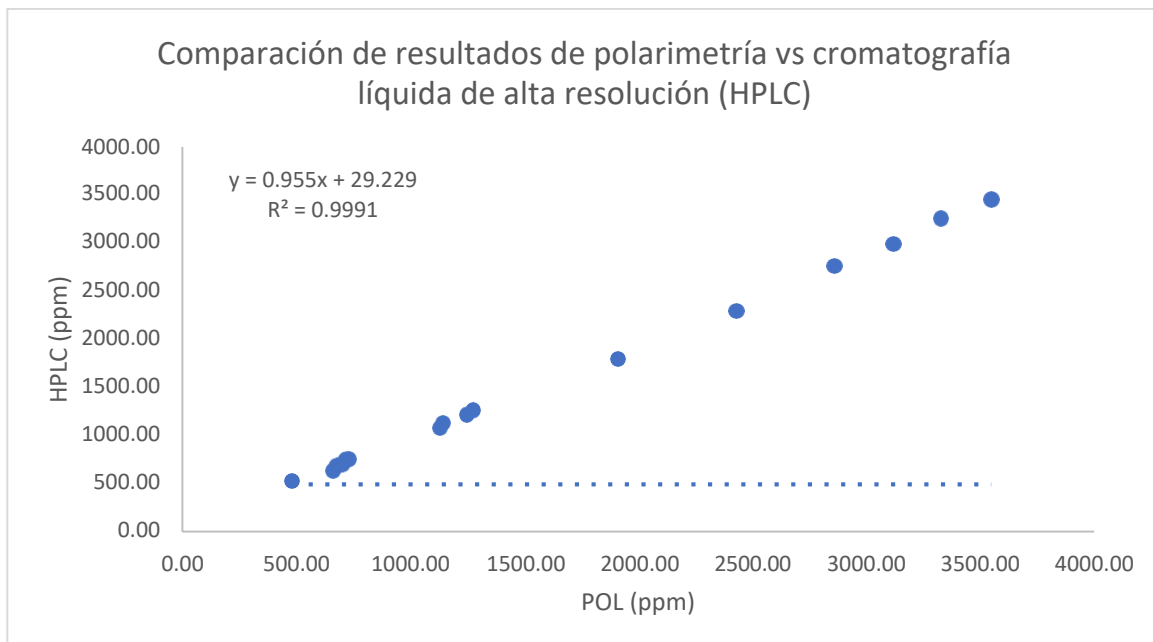
fecha	Lb/T caña	± Lb/t
27-ene	2.3E-02	8.6E-04
03-feb	1.9E-02	6.8E-04
17-feb	2.3E-02	8.5E-04

Cuadro No.128: Libras de azúcar perdidas por telada de caña en tubería 23.

fecha	Lb/T caña	± Lb/t
27-ene	4.7E-04	1.7E-05
03-feb	2.4E-04	8.8E-06
17-feb	3.1E-04	1.1E-05

e. Figuras

Figura No. 98 Gráfica de comparación de resultados de polarimetría vs cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).



La anterior figura es el resultado que garantiza que, al momento de utilizar el método de polarimetría para analizar concentraciones de sacarosa en muestras de efluentes del ingenio azucarero, se obtienen resultados certeros. Dicho resultado permitió proceder con la creación de una metodología estándar, el cual fue registrado con el código “STA.ANA.-MM001” de Nombre “Determinación de azúcar por medio de polarimetría”.

Figura No.99: Pérdidas de azúcar en bombas de licor rubio.



Figura No.100: Pérdidas de azúcar en bombas de magma.



Figura No.101: Pérdidas de azúcar en derrames y lavado de magma.



Figura No.102: Pérdidas de azúcar en derrames dentro de refinería, transporte de azúcar a empacadora.



Figura No.103: Salida de tuberías 21, 22, 23 y 24 a canal de efluente principal de fábrica.



Figura No.104: Bandejas instaladas en la parte baja de cada bomba de licor rubio hacía tanques de tratamiento.



4. Determinación de pérdidas de azúcar en Tándem B
 - a. Guías y manuales
 - i. Manual de Goulds Pumps, obtenido de la página oficial del proveedor.
(<https://www.gouldspumps.com>) (GP, 2006)



Installation, Operation and Maintenance Instruction

Volute Casing Pumps



Model:
ICP
ICPI
ICPH
ICPIH





b) Drained pumps

- Turn shaft at least 1x week (do not switch on because of dry running).
- Replace oil or grease after 2 years.


7. Servicing, Maintenance

7.1 General remarks

 Work should only be carried out on the pump or pump unit when it is not in operation. You must observe chapter 2.

 Maintenance and servicing work must only be carried out by trained, experienced staff who are familiar with the contents of these Operating Instructions, or by the Manufacturer's own service staff.


7.2 Mechanical seals

 Before opening the pump, it is essential that you note chapter 2 and chapter 8.

If the liquid being handled leaks out at the mechanical seal, it is damaged and must be replaced. Replacement of the mech. seal according to accompanying "Mounting Instructions for Shaft Sealing".

7.3 Stuffing boxes

Stuffing boxes require constant maintenance, see chapter 6.2 section "Stuffing box". If the leakage rate can no longer be set correctly, the packing is worn out and must be replaced in good time (increased wear on shaft sleeve). Replacement of stuffing boxes acc. to attached "Mounting Instructions for Shaft Sealing".


 Because of the risk of accidents, addition of packing to pumps during operation or at operating pressure or temperature is strictly forbidden!

7.4 Lubrication and Change of Lubricant

7.4.1 Oil lubrication

Temperature at bearing	First oil change after operating hours	All further oil changes after operating hours
up to 60°C	300	8760 *)
60°C - 80°C	300	4000 *)
80°C - 100°C	200	3000 *)


*) at least 1x year

 In plants endangered to explosion the oil changing intervals must be kept under any circumstances!

Oil changing

- After the first operating hours, drain oil (oil drain "GD" with drain plug 903.51) and flush with fresh oil. Clean oil drain plug and close oil drain again.
- Fill in new oil according to chapter 6.5.

• If the pump is left idle for a longer time, the oil should be changed after two years.

 Old oil must be disposed of in accordance with the valid national environmental regulations.

Oil quality

Name	Lubricating oil CLP46 DIN 51517 or HD 20W/20 SAE
Symbol acc. DIN 51502	
Kinematic viscosity at 40°C	46 ±4 mm ² /s
Flash point (acc. to Cleveland)	+175°C
Setting point (Pourpoint)	-15°C
Application temperature *)	higher than permitted bearing temperature

*) For ambient temperatures under -10°C an other suitable type of lubrication oil must be used. Request required.

Oil quantity

Bearing bracket	Oil quantity in l
24	0,5
32	1,1
42	1,4
48	1,7

7.4.2 Grease lubrication

Re-greasing

- Grease lubricated bearings with the possibility of re-greasing must be re-lubricated all 4000 operating hours, but at least 1x year. Clean lubricating nipples (636) first.

Quality of grease lubricant ...
... corresponding to NLGI GRADE 2

Quantity of re-greasing (approx. value)

Bearing bracket	bearing at pump side	bearing at drive side
24	9g / 10cm ²	14g / 16cm ²
32	13g / 15cm ²	20g / 22cm ²
42	18g / 20cm ²	33g / 35cm ²
48	23g / 26cm ²	42g / 46cm ²

- If the pump is left non-operational for a longer time, the grease in the bearings should be changed after 2 years.

7.5 Coupling

Check the clearance in the coupling components regularly approx. every 1000 operating hours, but at

b. Datos originales

Cuadro No. 129. Pérdidas reportadas en Parshall de patio

Día zafra	Pérdida (kg/Ton)	Día zafra2	Pérdida (kg/Ton)2	Día zafra4	Pérdida (kg/Ton)3
1	3.19	52	1.69	103	1.61
2	3.14	53	2.02	104	1.51
3	0.97	54	1.64	105	2.38
4	1.50	55	2.10	106	2.29
5	1.62	56	1.39	107	2.08
6	1.37	57	1.76	108	1.35
7	1.37	58	1.80	109	2.35
8	1.55	59	2.13	110	1.39
9	1.87	60	2.32	111	1.22
10	1.67	61	2.45	112	0.58
11	1.56	62	2.27	113	0.91
12	1.04	63	1.63	114	0.95
13	1.81	64	2.59	115	0.84
14	1.84	65	1.27	116	0.58
15	1.65	66	1.18	117	1.51
16	2.37	67	1.85	118	0.95
17	2.43	68	1.42	119	1.11
18	1.64	69	1.13	120	1.59
19	1.32	70	1.05	121	1.65
20	2.17	71	1.63	122	1.83
21	1.71	72	1.74	123	1.48
22	2.52	73	1.40	124	1.28
23	1.61	74	2.07	125	1.03
24	1.03	75	2.18	126	1.02
25	1.35	76	1.61	127	1.72
26	2.10	77	1.90	128	1.46
27	2.70	78	1.84	129	0.54
28	1.72	79	2.34	130	0.75
29	1.67	80	2.19	131	0.81
30	3.51	81	2.32	132	0.56
31	0.97	82	2.37	133	0.42
32	1.71	83	2.27	134	0.72
33	2.02	84	2.29	135	0.72
34	1.36	85	1.19	136	0.46
35	1.46	86	0.72	137	0.65
36	1.25	87	0.60	138	1.12
37	1.83	88	1.00	139	1.33
38	2.02	89	0.45	140	2.04
39	2.23	90	1.08	141	2.23
40	1.35	91	0.59	142	2.46
41	1.14	92	0.90	143	2.85
42	2.67	93	0.71	144	4.89
43	1.73	94	1.03	145	3.91
44	1.49	95	1.25	146	4.66
45	1.01	96	1.24	147	3.90
46	1.26	97	0.89	148	2.63
47	1.46	98	2.01	149	1.94
48	1.73	99	0.85	150	1.82
49	1.37	100	0.87	151	1.01
50	0.97	101	1.58		
51	1.76	102	2.74		

Cuadro 130. Molienda diaria en Tándem B de molinos

Día zafra	Molienda (Ton/día)	Día zafra2	Molienda (Ton/día)2	Día zafra4	Molienda (Ton/día)3
1	4655.73	52	6815.75	103	7316.01
2	5542.79	53	7253.20	104	7397.47
3	5716.80	54	7286.32	105	7144.26
4	6246.48	55	7304.83	106	6981.56
5	5728.68	56	5905.85	107	7467.32
6	6929.12	57	6674.01	108	6775.44
7	6285.09	58	7282.88	109	7041.98
8	7182.32	59	7131.08	110	7305.40
9	6944.08	60	7110.02	111	6186.19
10	5938.25	61	7567.77	112	6564.20
11	5852.91	62	7427.51	113	7765.53
12	7126.98	63	7156.38	114	7908.14
13	5995.15	64	6657.32	115	7766.08
14	6957.49	65	7708.40	116	7784.98
15	7176.58	66	7200.31	117	7918.90
16	7083.43	67	7470.94	118	7912.25
17	7573.05	68	7669.83	119	7915.73
18	7413.94	69	6649.55	120	7876.20
19	7530.71	70	6044.35	121	7450.69
20	7676.54	71	7366.52	122	6124.17
21	7084.02	72	7310.94	123	7027.08
22	7451.63	73	7403.09	124	7094.45
23	6367.48	74	7132.04	125	7535.26
24	7534.46	75	7799.76	126	7688.31
25	7733.84	76	7565.10	127	6962.84
26	7158.85	77	6811.84	128	6894.59
27	7113.35	78	7147.70	129	7448.93
28	6882.54	79	7416.44	130	7546.27
29	7557.12	80	6780.22	131	7184.61
30	7002.02	81	8202.46	132	7801.63
31	6570.96	82	7029.40	133	7509.40
32	7610.38	83	6900.87	134	5796.67
33	7766.20	84	7797.78	135	6716.92
34	6766.64	85	7511.21	136	7188.52
35	6754.83	86	6295.05	137	6805.48
36	6949.28	87	5328.90	138	7086.15
37	6534.55	88	6209.25	139	7200.62
38	6813.77	89	6180.33	140	7038.06
39	6293.80	90	6418.39	141	7111.04
40	6346.46	91	5728.63	142	6779.68
41	7651.31	92	6860.13	143	5731.08
42	7740.01	93	7034.33	144	5236.06
43	7225.90	94	7135.52	145	5746.86
44	6716.75	95	7080.34	146	7479.48
45	7392.16	96	6177.18	147	7554.06
46	6979.16	97	6728.46	148	6823.99
47	7293.49	98	5079.71	149	7583.78
48	7303.46	99	7184.46	150	6893.74
49	7323.37	100	7332.41	151	6407.54
50	6815.75	101	7293.58		
51	7253.20	102	5037.77		

Cuadro 131. Avisos de mantenimiento de bombas en molinos

Código de orden	Aviso
422119	BARRENAR Y MACHUELEAR PARA CASTIGADOR CAMISA SEGÚN MEDIDAS. RESP. JACOBO JIMENEZ
435419	HACER DOS CAMISAS DE ACERO INOX. P/BOMBA 2 MACERACIÓN
446886	FUGA, apretar de estopero por fuga
454317	FUGA, APRETE DE ESTOPERO
433658	HACER 2 CAMISAS DE ACERO INOX. PARA EJE DE BOMBA 4 MACERACIÓN MOLINO 5
436818	FABRICAR UN EJE PARA BOMBAS DE MACERACION MOLINO 5
445985	ATORAMIENTO - DESMONTAJE POR ATORAMIENTO (BAGAZO) DE BOMBA
463221	ATORAMIENTO, desmontar carrizo para sacar objeto que se encuentra en la salida de la bomba

En este Cuadro es un resumen de los avisos de mantenimiento más repetitivos durante la zafra.

Cuadro 132. Pérdidas de azúcar en Punto A

Día zafra	Horrida No	Tiempo (±0)	Distancia	Profundidad	Ancho (±0)	Tiempo pro	Velocidad	Tiempo	Área (m ²)	Incertidum	Caudal (L/s)	Incertidum	Pol (±0.01)	Concentració	Incertidum	Masa azucar	Incertidum	Pérdida	Incertidum
86	1	15.6	1.81	0.08	0.62	14.50	0.07	0.00	0.14	0.02	9.51	1.26	2.88	7180.3	0.74	245.91	32.49	0.94	0.12
	2	13.8																	
	3	14.6																	
	4	13.4																	
	5	15.1																	
	1	18.1	0.08	17.42	0.06	0.00	0.14	0.02	7.92	1.05	1.78	4449.0	0.74	126.79	16.74	0.48	0.06		
	2	18.7																	
	3	17.2																	
	4	15.1																	
	5	18.1																	
	1	12.5	0.06	12.68	0.08	0.00	0.11	0.02	8.56	1.43	2.25	5616.0	0.74	173.13	28.99	0.66	0.11		
	2	13.3																	
	3	11.6																	
	4	13.7																	
	5	12.4																	
	1	13.7	0.07	13.14	0.08	0.00	0.12	0.02	8.95	1.39	2.10	5243.5	0.74	169.01	26.15	0.64	0.10		
	2	13.2																	
	3	12.4																	
	4	12.8																	
	5	13.7																	
1	12.5	0.08	13.04	0.08	0.00	0.14	0.02	10.41	1.40	2.61	6509.9	0.74	244.01	32.77	0.93	0.12			
2	13.9																		
3	13.6																		
4	12.6																		
5	12.6																		
93	1	22.7	1.81	0.08	0.62	21.68	0.05	0.00	0.14	0.02	6.26	0.84	0.11	302.4	0.74	6.82	0.91	0.02	0.00
	2	22.0																	
	3	22.6																	
	4	19.9																	
	5	21.2																	
	1	23.7	0.09	22.80	0.04	0.00	0.17	0.02	7.38	0.80	0.05	153.4	0.74	4.08	0.44	0.01	0.00		
	2	21.1																	
	3	23.8																	
	4	22.8																	
	5	22.7																	
	1	18.4	0.08	19.34	0.05	0.00	0.14	0.02	7.02	0.94	0.13	352.0	0.74	8.89	1.19	0.03	0.00		
	2	19.5																	
	3	20.2																	
	4	19.1																	
	5	19.6																	
109	1	16.4	2.22	0.09	0.62	18.27	0.12	0.00	0.06	0.01	6.80	0.77	0.14	376.8	0.74	9.22	1.04	0.03	0.00
	2	17.8																	
	3	19.6																	
	4	20.1																	
	5	17.4																	

Cuadro No.133 Pérdidas de azúcar en punto B

Día zafra	Corrida No.	Tiempo (±0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Tiempo promedio (±0.15 s)	Velocidad (m/s)	Incertidumbre (m/s)	Area (m ²)	Inc. (m ²)	Caudal (L/s)	Inc. (L/s)	Pol (±0.01 °Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
109	1	1.20	1.70	0.12	1.24	1.38	1.23	0.13	0.15	0.01	183.75	25.27	0.03	103.72	0.74	68.61	9.45	0.23	0.03
	2	1.43																	
	3	1.50																	
	1	1.56		0.08		1.37	1.24	0.14	0.10	0.01	122.80	20.42	0.01	54.06	0.74	23.90	3.99	0.08	0.01
	2	1.28																	
	3	1.28																	
	1	1.32		0.07		1.42	1.20	0.13	0.09	0.01	104.16	18.55	0.02	78.89	0.74	29.58	5.28	0.10	0.02
	2	1.50																	
	3	1.43																	

Cuadro 134. Pérdidas de azúcar en el día 100 de zafra

Punto	Tiempo (±0.1 s)	Prom (±0.1 h)	Profundidad (±0.01 m)	Ancho (±0.01 m)	Largo (±0.01 m)	Volumen (m ³)	Incertidumbre (m ³)	Caudal (L/s)	Inc. (L/s)	Pol (±0.01 °Z)	Concentración (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Inc. (kg/h)	Molienda (kg/h)	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	2.17	1.92	0.09	1.75	1.22	0.18	0.02	95.46	13.40	0.13	476.17	0.74	163.65	22.97	305.58	0.54	0.08
	1.77																
	1.83																
	2.45																
	1.60																
2.79	2.28	0.03	0.06	0.02	28.09	9.55	0.24	625.15	0.74	63.22	21.49	305.58	0.21	0.07			
22.00	22.18	0.07	0.62	1.81	0.08	0.01	3.56	0.51	0.25	649.98	0.74	8.33	1.20	305.58	0.03	0.00	
21.43																	
22.35																	
21.00																	
22.40																	
21.65	21.33	0.08	0.08	0.01	3.97	0.53	0.23	600.32	0.74	8.57	1.15	305.58	0.03	0.00			
2.40	2.41	0.06	0.55	1.09	0.04	0.18	14.93	0.08	0.27	699.64	0.74	37.59	0.20	305.58	0.12	0.00	
2.30																	
2.53																	

Cuadro No. 135. Pérdidas de azúcar en el día 114 de zafra

Punto	No. Corrida	Tiempo (±0.15 s)	Prom (s)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Distancia (± 0.01 m)	Volumen (m ³)	Inc. (m ³)	Caudal (L/s)	inc. (L/s)	Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Ton métrica/h	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	1	2.24	2.14	0.10	1.75	1.22	0.20	0.02	94.78	12.02	0.18	476.17	0.74	162.47	20.61	329.57	0.49	0.06
		2.24																
		2.42																
		1.96																
	1.84	1.98	0.08	0.17			0.02	86.44	12.67	0.19	501.00	0.74	155.90	22.85	329.57	0.47	0.07	
	2.55																	
	1.63																	
	2.30																	
1.57	11.18	0.08	0.07	0.01	6.56	0.89	0.43	1096.92	0.74	25.91	3.50	329.57	0.08	0.01				
11.22																		
11.54																		
10.78																		
10.84	10.01	0.08	0.08	0.01	7.82	0.99	0.15	401.68	0.74	11.30	1.44	329.57	0.03	0.00				
9.19																		
10.00																		

Cuadro 136. Pérdidas de azúcar en el día 121 de zafra

Punto	No. Corrida	Tiempo (±0.15 s)	t Prom (s)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Distancia (± 0.01 m)	Volumen (m3)	Inc. (m3)	Caudal (L/s)	inc. (L/s)	Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Ton métrica/h	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	1	2.16	2.17	0.10	1.75	1.22	0.21	0.02	98.39	12.00	0.16	426.51	0.74	151.07	18.43	310.51	0.49	0.44
		2.83																
		2.26																
		1.96																
	2	1.64	2.01	0.10	1.75	1.22	0.21	0.02	106.11	13.28	0.16	426.51	0.74	162.93	20.39	310.51	0.52	0.48
		1.96																
		2.04																
		2.09																
A	1	9.14	9.16	0.08	0.62	0.93	0.04	0.01	4.74	0.64	0.21	550.66	0.74	9.40	1.28	310.51	0.03	0.03
		8.62																
		9.72																
		9.22																
	2	10.25	9.79	0.08	0.62	0.93	0.05	0.01	4.85	0.60	0.28	724.47	0.74	12.65	1.57	310.51	0.04	0.04
		9.91																
		2.55																
		2.29																
C	1	2.82	2.55	0.06	0.55	1.09	0.04	0.01	14.09	2.51	0.14	376.85	0.74	19.11	3.40	310.51	0.06	0.06
		2.23																
		2.35																
	2	2.29	2.29	0.06	0.55	1.09	0.04	0.01	15.71	2.83	0.16	426.51	0.74	24.12	4.35	310.51	0.08	0.07
		2.35																
		2.35																

Cuadro No. 137. Pérdidas de azúcar en el día 132 de zafra

Punto	Tiempo (±0.15 s)	t Prom (s)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Distancia (± 0.01 m)	Volumen (m3)	Inc. (m3)	Caudal (L/s)	inc. (L/s)	Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Flujo (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Molienda (Ton métrica/h)	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	2.75	2.62	0.09	1.75	1.22	0.19	0.02	73.34	9.20	0.12	327.19	0.74	86.39	10.83	325.13	0.27	0.03
	2.20																
	2.45																
	2.30																
	3.40																
C	2.55	1.98	0.07	0.55	1.09	0.04	0.01	19.72	3.41	0.23	600.32	0.74	42.62	7.36	325.13	0.13	0.02
	1.63																
	2.30																
	1.57																
	1.83																
A	9.18	9.87	0.07	0.62	0.93	0.04	0.01	4.11	0.60	0.18	476.17	0.74	7.04	1.02	325.13	0.02	0.00
	9.87																

Cuadro 138. Pérdidas de azúcar en el día 142 de zafra

Punto	No. Corrida	Tiempo (s)	t Prom (s)	Inc. (s)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Distancia (± 0.01 m)	Volumen (m3)	Inc. (m3)	Caudal (L/s)	inc. (L/s)	Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Masa azúcar (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Molienda (ton/h)	Molienda (Ton/h)	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	1	1.58	1.58	0.26	0.06	1.75	1.22	0.13	0.02	81.25	19.06	0.11	302.36	0.74	88.44	20.75	311.45	282.54	0.31	0.07
		1.71																		
		1.44																		
A	1	6.53	5.84	0.26	0.06	0.62	1.88	0.06	0.01	11.04	2.07	0.21	550.66	0.74	21.88	4.11	311.45	282.54	0.08	0.01
		4.90																		
		6.08																		
	2	9.22	9.64	0.26	0.05	0.62	1.88	0.06	0.01	6.07	1.23	0.17	451.34	0.74	9.87	2.00	311.45	282.54	0.03	0.01
		10.00																		
		9.70																		
C	1	2.88	3.92	0.26	0.06	0.54	1.89	0.06	0.01	15.62	2.82	0.28	724.47	0.74	40.74	7.35	311.45	282.54	0.14	0.03
		4.25																		
		4.63																		

Cuadro 139. Pérdidas de azúcar en el día 149 de zafra

Punto	No. Corrida	Tiempo (s)	t Prom (s)	Inc	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)	Distancia (± 0.01 m)	Volumen (m ³)	Inc. (m ³)	Caudal (L/s)	inc. (L/s)	Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	Inc. (mg/L)	Masa azúcar (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Molienda (Ton/h)	Pérdida (kg/Ton)	Incertidumbre (kg/Ton)
B	1	1.38	1.51	0.26	0.06	1.75	1.22	0.13	0.02	85.02	20.41	0.11	302.36	0.74	92.55	22.21	316.06	0.29	0.07
		1.57																	
		1.57																	
A	1	9.40	9.31	0.26	0.07	0.62	1.88	0.08	0.01	8.80	1.29	0.12	327.19	0.74	10.37	1.52	316.06	0.03	0.00
		9.85																	
		8.69																	
		8.69																	

c. Cálculos de muestra.

Cálculo No. 62. Cálculo de área de punto A de análisis

$$\begin{aligned} \text{Área} &= \text{Ancho} \times \text{Profundidad} \\ &= 0.623 \pm 0.01 \text{ m} \times 0.09 \pm 0.01 \text{ m} \\ &= 0.056 \pm 0.006 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Se realizó el mismo procedimiento para los resultados de los puntos B y C analizados.

Cálculo No. 63. Cálculo de velocidad

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{2.215 \pm 0.01 \text{ m}}{18.27 \pm 0.15 \text{ s}} = 0.121 \pm 0.001 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo No. 64. Cálculo del caudal puntos A, B y C Según

ecuación 1:

$$Q = 0.056 \pm 0.006 \text{ m}^2 \times 0.121 \pm 0.001 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.007 \pm 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conversión a Litros:

$$0.007 \pm 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 6.799 \pm 0.766 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Cálculo No. 65. Cálculo de caudal en tuberías de agua de enfriamiento

Según ecuación 2:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{6.17 \pm 0.866 L}{0.001 \pm 7.22 \times 10^{-5} h} = 5,568 \pm 862.1 \frac{L}{h}$$

Cálculo No. 66. Cálculo de flujo másico de sacarosa

Polarimetría a Partes Por Millón

$$0.1400 \pm 0.01 \text{ } ^\circ\text{Z} \times 2600 = 364.0 \pm 26 \frac{mg}{L}$$

Corrección de polarimetría según curva de calibración del módulo de validación de métodos para determinación de concentración de sacarosa y caudal, empleados en un ingenio azucarero, usando estadística, calibraciones, análisis de diseño y revisión de procedimientos de muestreo.

$$(364.0 \pm 26.00 \frac{mg}{L} \times 0.9550) + 29.23 = 376.8 \pm 0.7400 \frac{mg}{L}$$

Cálculo No. 67. Conversión a kilogramos/hora

$$376.8 \pm 0.7400 \frac{mg}{L} \times 6.799 \pm 0.766 \frac{L}{kg} \times \frac{1 g}{1000 mg} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times \frac{3600 s}{1 h}$$

$$= 9.223 \pm 1.039 \frac{kg}{h}$$

El método realizado indica que se debe multiplicar por 2600 el valor obtenido de polarimetría para convertir a partes por millón (ppm).

Cálculo No. 68 Cálculo de pérdida de azúcar kg/t caña

$$9.223 \pm 1.039 \frac{kg}{h} \times \frac{24.00 h}{7764 tn} \times \frac{0.9072 tn}{1.000 t} = 0.0314 \pm 0.0035 \frac{kg}{t}$$

Cálculo No. 69. Cálculo de pérdida total de Tándem B

Pérdida en Tándem = Pérdida en punto A + Pérdida punto B + Pérdida punto C
Pérdida en Tándem

$$= 0.0303 \pm 0.0274 \frac{kg}{t} + 0.0407 \pm 0.0369 \frac{kg}{t} + 0.0616$$

$$\pm 0.0558 \frac{kg}{t} = 0.5784 \pm 0.4457 \frac{kg}{t}$$

Hubo días de toma de muestra en los que No había pérdida en el punto C.

Cálculo No. 70. Cálculo de porcentaje de pérdida según reportado en efluente Parshall

Según la ecuación 3:

$$\frac{0.5784 \pm 0.4457 \frac{kg}{t}}{1.643 \frac{kg}{t}} = 0.3520 \pm 0.2710 = 35.20\%$$

Cálculo No. 71. Cálculo de propagación de error

Cálculo de desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Las desviaciones estándar de este trabajo fueron calculadas por medio de Office 365 Excel.

Cálculo de incertidumbre de una suma:

$$Incertidumbre = \sqrt{(\pm 0.0274)^2 + (\pm 0.0369)^2 + (\pm 0.0558)^2} = \pm 0.4457 \frac{kg}{t}$$

Se calculó este tipo de incertidumbre para los resultados de promedios y pérdidas totales en Tándem B.

Cálculo de incertidumbre de una división o multiplicación:

$$Incertidumbre = 0.007 \frac{m^3}{s} \sqrt{\left(\frac{\pm 0.006 m^2}{0.056 m^2}\right)^2 + \left(\frac{\pm 0.001 m/s}{0.121 m/s}\right)^2} = \pm 0.001 \frac{m^3}{s}$$

Se calculó este tipo de incertidumbre para los resultados de conversiones, cálculos de caudal, velocidad, flujo másico y pérdidas de azúcar.

d. Resultados Intermedios

i. Pérdida promedio en punto A

Cuadro No.140. Pérdida promedio en punto A o Tándem B.

Día zafra	Flujo de azúcar promedio (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Pérdidas (kg/t caña)	Incertidumbre (kg/t caña)	Pérdidas en Parshall patio (kg/t)	% Pérdida	Incertidumbre (%Pérdida)
86	119.5	39.23	0.455	0.150	0.7200	63.247%	20.77%
93	4.109	0.980	0.014	0.003	0.7099	1.974%	0.4709%
100	8.450	1.664	0.028	0.005	0.8671	3.189%	0.6281%
109	9.223	1.039	0.031	0.004	2.3528	1.336%	0.1505%
114	18.60	3.784	0.056	0.011	0.9533	5.923%	1.205%
121	11.03	2.027	0.036	0.007	1.6480	2.155%	0.3961%
132	7.044	1.021	0.022	0.003	0.5628	3.849%	0.5580%
142	15.88	4.572	0.056	0.016	2.4542	2.289%	0.6594%
149	10.37	1.520	0.033	0.005	1.9370	1.694%	0.2482%

ii. Pérdida promedio en punto B

Cuadro No.141. Pérdida promedio en lavado de conductores de caña

Día zafra	Flujo de azúcar promedio (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Pérdidas (kg/t caña)	Incertidumbre (kg/t caña)	Pérdidas en Parshall patio (kg/t)	% Pérdida	Incertidumbre (%Pérdida)
100	113.434	31.457	0.371	0.103	0.867	42.812%	11.872%
109	40.696	11.533	0.139	0.039	2.353	5.894%	1.670%
114	159.184	30.776	0.483	0.093	0.953	50.667%	9.796%
121	156.998	27.483	0.506	0.089	1.648	30.681%	5.371%
132	86.385	10.834	0.266	0.033	0.563	47.205%	5.920%
142	88.437	20.747	0.313	0.073	2.454	12.754%	2.992%
149	92.546	22.215	0.293	0.070	1.937	15.117%	3.629%

iii. Pérdida promedio en punto C

Cuadro No.142. Pérdida promedio por lavado en canal previo al lavado de conductores de caña

Día zafra	Flujo de azúcar promedio (kg/h)	Incertidumbre (kg/h)	Pérdidas (kg/t caña)	Incertidumbre (kg/t caña)	Pérdidas en Parshall patio (kg/t)	% Pérdida	Incertidumbre (%Pérdida)
100	37.592	0.195	0.121	0.001	0.867	13.963%	0.072%
121	21.615	5.519	0.070	0.018	1.648	4.224%	1.078%
132	42.619	7.363	0.131	0.023	0.563	23.289%	4.024%
142	40.742	7.350	0.144	0.026	2.454	5.876%	1.060%
149	No había pérdidas porque ya No estaban funcionando las mangueras que las producían						

iv. Resultados utilizados para prueba t de intervalo de media poblacional

Cuadro No.143. Muestra de datos utilizados para intervalo de confianza

Día de zafr a	Pérdidas Tándem kg/T caña	Incertidumbre (kg/T)	Pérdida parshal l (kg/t)	Pérdida Tándem/pérdida parshall	Incertidumbre	% Pérdida
86	0.584	0.078	0.718	0.814	0.108	81.35
86	0.301	0.040	0.718	0.419	0.056	41.95
86	0.411	0.069	0.718	0.573	0.096	57.28
86	0.401	0.062	0.718	0.559	0.087	55.92
86	0.579	0.078	0.718	0.807	0.109	80.73
93	0.014	0.002	0.708	0.020	0.003	2.05
93	0.009	0.001	0.708	0.012	0.001	1.22
93	0.019	0.003	0.708	0.027	0.004	2.67
100	0.563	0.075	0.864	0.651	0.087	65.11
100	0.235	0.070	0.864	0.272	0.081	27.18
100	0.123	0.001	0.864	0.142	0.001	14.23
109	0.265	0.032	2.345	0.113	0.014	11.31
109	0.081	0.014	2.345	0.035	0.006	3.47
109	0.101	0.018	2.345	0.043	0.008	4.30
114	0.572	0.063	0.950	0.601	0.067	60.15
114	0.507	0.069	0.950	0.534	0.073	53.38
121	0.578	0.446	1.643	0.352	0.271	35.20
121	0.643	0.483	1.643	0.391	0.294	39.15
132	0.418	0.040	0.561	0.746	0.072	74.57
142	0.390	0.075	2.447	0.160	0.031	15.96
142	0.179	0.027	2.447	0.073	0.011	7.32
149	0.321	0.070	1.931	0.166	0.036	16.61

e. Figuras

Figura No. 105. Diagrama de entradas y salidas del medidor Parshall de Patio

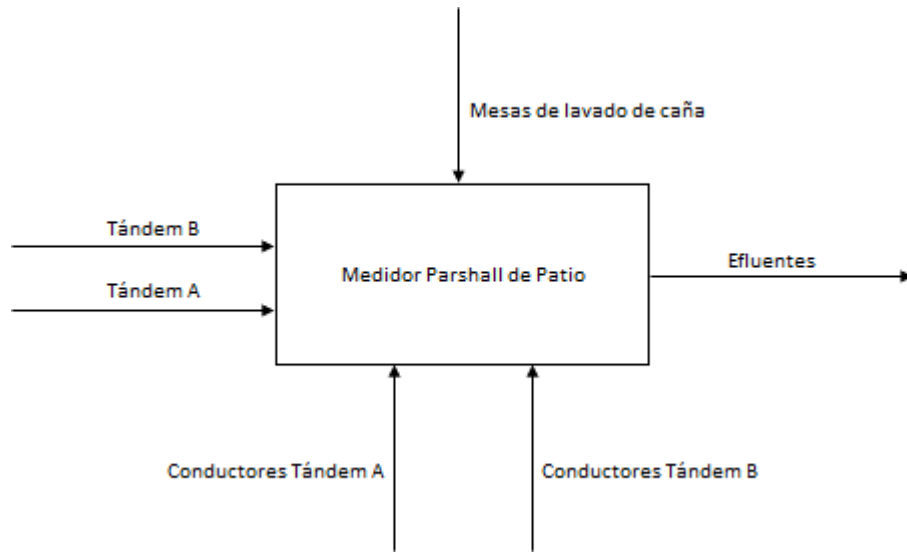


Figura No. 106. Fuga en bomba de jugo de caña (B124)



Figura No. 107. Fugas en canal de molino



Figura No. 108. Fuga en tanque de jugo de caña



Figura No.109. Fuga entre molino 1 y 2



Figura No. 110. Antes y después de tubería agua de enfriamiento molino 1 y 2.



Figura No. 111. Barrera metálica colocada entre molino 1 y 2



Figura No. 112. Matajuntas en conductores



Figura No. 113. Tubería de agua de enfriamiento molino 4



Figura No. 114. Canal atrás de conductores de caña



Figura No.115. Conductores de caña



Figura No.116. Matajuntas y angulares en conductores



Figura No. 117. Intervalo de confianza elaborado en Geogebra para obtención de porcentaje de pérdida.

Intervalo T de una media v

Nivel de confianza:

Resultado:

Intervalo	0.3414 ± 0.1239
Límite por la derecha	0.2175
Límite por la izquierda	0.4653
Margen de Error	0.1239
glib	21
ES	0.0596
n	22
Media	0.3414

Figura No.118. Intervalo t de una media poblacional elaborado en Geogebra para la obtención de intervalo de pérdidas en Tándem B.

Nivel de confianza:

Resultado:

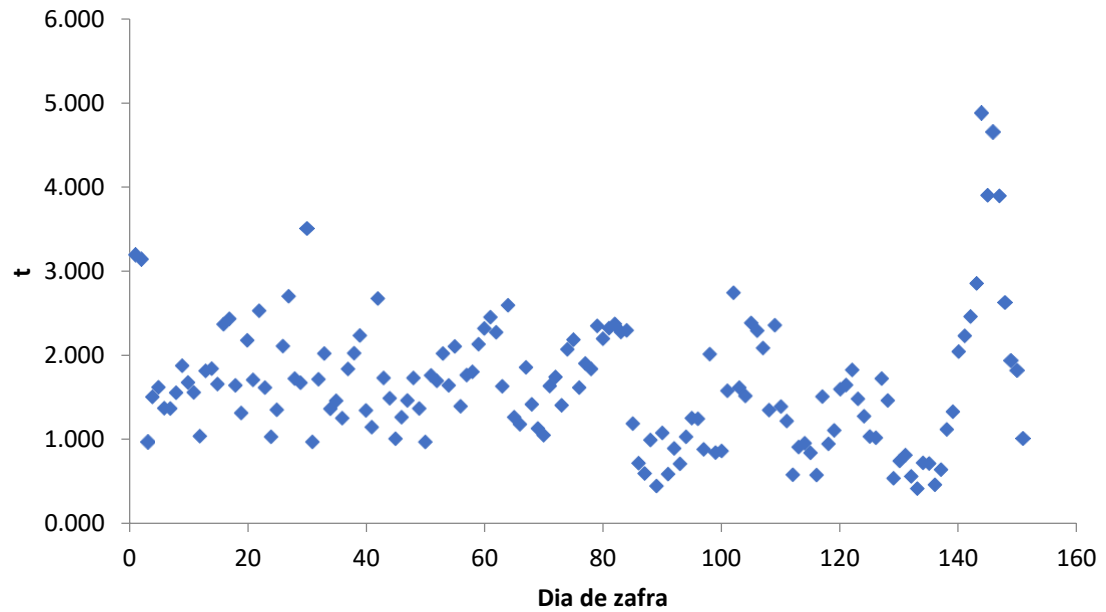
Intervalo	5787.295 ± 1656.4737
Límite por la derecha	4130.8213
Límite por la izquierda	7443.7687
Margen de Error	1656.4737
glib	21
ES	796.5294
n	22
Media	5787.295

Figura No.119. Tipo de bombas en Tándem B

0718-0134	BOMBA 2 MACERACION MOLINO 3 T.B	COLOR DIVISION MARCA MODELO SERIE SIZE STATUS SUB-SUBCENT.ING. UBICACION USO EN	AMARILLO DIV. INDUSTRIAL ITT MARLOW B EW 25SL 212101-01-02 6X8X11" REPUESTO 04 BOMBA 2 MACERACION MOLINO 3 BODEGA #22
0718-0186	BOMBA 3 MACERACION MOLINO 4 T.B	DIVISION MARCA MODELO RPM SERIE SIZE STATUS SUB-SUBCENT.ING. UBICACION	DIV. INDUSTRIAL MULTISTEEL B-4375 1150 RSD-150/320 8X4X11-1/2" REPUESTO 05 BOMBA 3 MACERACION MOLINO 4
0718-0245	BOMBA 1 MACERACION MOLINO 2 T B	COLOR DIAM.VALV.ENT DIAM.VALV.SAL. DIVISION MARCA MATERIAL MODELO SERIE SIZE SPEC. NO STATUS SUB-SUBCENT.ING. TIPO UBICACION	AMARILLO 6" 6" DIV. INDUSTRIAL ITT MARLOW INOXIDABLE 6EW25SL 212101-01-03 6X8X10" 0923755 04 CENTRIFUGA BOMBA 1 MACERACION MOLINO 2
0718-0419	BOMBA 1 TANQUE JUGO COLADO	COLOR DIAMETRO IMPELENTE DIVISION MARCA MAT'L CONSTR. MODELO RPM SERIE SIZE STATUS STD. NO. SUB-SUBCENT.ING. UBICACION USO EN	AMARILLO 13.25 DIV. INDUSTRIAL GOULDS PUMPS 316SS XLT-3196 1200 707F954W3 8"10-13 A100 08 MOLINOS TANDEM "B" BOMBA 1 TANQUE JUGO COLADO
0718-0324	BOMBA 2 TANQUE JUGO COLADO	COLOR DIVISION MARCA MODELO RPM SERIE SIZE STATUS SUB-SUBCENT.ING. TIPO UBICACION USO EN	AMARILLO DIV. INDUSTRIAL GOULDS PUMPS 3196 1200 E230C665-1 8X10X13" REPUESTO 05 XLT-X MOLINOS TANDEM B BOMBA 2 TANQUE JUGO COLADO

f. Gráficas

Figura No.120. Pérdidas de azúcar en efluente de medidor Parshall antes de realizar método de media móvil



g. Cuadros

Cuadro 144. Pérdidas semanales en zafras 2016-2017 y 2017-2018

ZAFRA	SEMANA	Promedio pérdida semanal kg/TC
2016/2017	1	3.042
	2	3.068
	3	2.723
	4	2.175
	5	2.267
	6	2.049
	7	2.652
	8	2.875
	9	2.368

Continuación de Cuadro 144. Pérdidas semanales en zafras 2016-2017 y 2017-2018

	10	2.779
	11	2.464
	12	1.851
	13	2.251
	14	1.947
	15	1.907
	16	1.810
	17	2.191
	18	2.429
	19	2.120
	20	2.292
	21	2.216
	22	2.556
	23	1.754
	24	2.049
	25	3.027
2017/2018	1	2.187
	2	1.478
	3	1.854
	4	1.790
	5	2.036
	6	1.648
	7	1.532
	8	1.600
	9	1.999
	10	1.739
	11	1.610
	12	2.081
	13	1.215
	14	0.981
	15	1.469
	16	1.916
	17	0.943
	18	1.419
	19	1.035
	20	0.662
	21	2.798
	22	2.590

Cuadro 145. Mantenimiento realizado a bombas de jugo colado durante zafra en el mes de marzo

Plan	Fecha	Descripción aviso	Pieza
Correctivo	16/03/2018	Mantenimiento de bomba 1 de jugo colado	Estopa de fibra fenólica 2777

5. Pérdidas indeterminadas de azúcar en efluentes de Tándem A y conductores de caña

a. Datos originales

Cuadro No.146 Resultados de vista 8 de febrero

Datos 8 de febrero 2018					
Hora	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
10:15	1	2.81	1.48	0.06	0.6
	2	2.55			
	3	3.47			
	4	2.68			
	5	2.49			
10:45	1	2.56		0.065	
	2	2.87			
	3	3.01			
	4	2.74			
	5	2.81			
11:10	1	3.27		0.0889	
	2	2.81			
	3	2.75			
	4	2.42			
	5	2.61			
11:30	1	3.46		0.07	
	2	3.08			
	3	3.21			
	4	2.61			
	5	3			
11:45	1	2.62	0.07		
	2	2.44			
	3	3.2			
	4	3.42			
	5	3			

Cuadro No.147 Resultados de visita 17 de febrero

Datos 17 de febrero 2018					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
Salida de molinos	1	2.43	1.5	0.09	0.605
	2	2.5			
	3	2.5			
	4	2.6			
	5	3			
Salida de molinos	1	3.03	1.5	0.09	0.605
	2	3			
	3	3.4			
	4	3.5			
	5	3			
Salida de molinos	1	2.80	1.5	0.09	0.605
	2	2.9			
	3	2.8			
	4	2.8			
	5	2.8			
Salida de conductores	1	2.80	1	0.11	0.8
	2	2.9			
	3	2.8			
	4	2.8			
	5	2.8			

Cuadro No. 148 Resultados de visita 24 de febrero

Resultados de visita 24 de febrero					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
B32	1	96.00			
	2	95			
	3	94			
	4	96			
	5	96			
B33	1	92.00			
	2	90			
	3	91			
	4	93			
	5	90			
B34	1	80.00			
	2	75			
	3	74			
	4	70			
	5	73			
Canal A conductor de caña	1	2.60	1.64	0.07	0.64
	2	2.8			
	3	2.65			
	4	2.7			
	5	2.6			
Canal B conductor de caña	1	2.50	1.66	0.06	0.62
	2	2.45			
	3	2.6			
	4	2.5			
	5	2.7			
Canal C conductor de caña	1	2.00	1.69	0.11	0.6
	2	1.9			
	3	1.8			
	4	1.9			
	5	1.9			

Cuadro No.149 *Resultados de visita 3 de marzo*

Resultados 3 de marzo					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
Canal A conductor de caña	1	3.00	1.64	0.06	0.64
	2	3.2			
	3	3			
	4	3.1			
	5	3			
Canal B conductor de caña	1	3.52	1.66	0.06	0.64
	2	3.45			
	3	3.32			
	4	3.5			
	5	3.56			
Canal C conductor de caña	1	2.00	1.69	0.12	0.6
	2	1.9			
	3	1.8			
	4	1.9			
	5	1.7			

Cuadro No.150 *Resultados de visita 10 de marzo*

Resultados 10 de marzo					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
Canal A conductor de caña	1	2.90	1.64	0.07	0.64
	2	2.8			
	3	2.9			
	4	2.9			
	5	2.7			
Canal B conductor de caña	1	56.00	1.66	0.06	0.64
	2	60			
	3	75			
	4	60			
	5	65			
Canal C conductor de caña	1	1.40	1.69	0.14	0.6
	2	1.5			
	3	1.4			
	4	1.3			
	5	1.4			

Continuación Cuadro No.150 *Resultados de visita 10 de marzo*

Canal I	1	3.20	0.81	0.03	0.23
	2	3.1			
	3	3.1			
	4	3.4			
	5	3.4			
Canal I	1	3.50	0.81	0.03	0.23
	2	3.6			
	3	3.7			
	4	3.5			
	5	3.6			

Cuadro No.151 *Resultados de visita 17 de marzo*

Resultados 17 de marzo					
Área	Corrida No.	Tiempo (±0.15 s)	Distancia (±0.01 m)	Profundidad (±0.01 m)	Ancho (±0.01 m)
B32	1	96			
	2	94			
	3	91			
B33	1	91			
	2	90			
	3	93			
B34	1	81			
	2	80			
	3	80			
Canal Principal	1	2.43	0.149	0.09	0.61
	2	2.44			
	3	2.5			
	4	2.32			
	5	2.4			
Canal B	1	5.30	0.72	0.10	0.5
	2	5.4			
	3	5.3			
	4	5.2			
	5	5.3			

Continuación Cuadro No.151 Resultados de visita 17 de marzo

Canal H	1	5.00	0.3	0.08	0.15
	2	5.1			
	3	5.1			
	4	5			
	5	4			
Canal G	1	5.30	0.6	0.08	0.45
	2	5			
	3	4.3			
	4	4.6			
	5	4.7			

Cuadro No.152 Resultados de visita 30 de marzo

Resultados 30 de marzo					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
Pre Kush kush	1	4.50	0.6	0.08	0.6
	2	4.4			
	3	4.5			
	4	4.67			
	5	4.36			
Post Kush Kush	1	4.65	0.6	0.08	0.6
	2	4.75			
	3	4.7			
	4	4.67			
	5	4.2			
Canal de lavado frontal	1	5.30	0.4	0.07	0.25
	2	5.43			
	3	5			
	4	5.56			
	5	5.7			
Canal G	1	4.30	0.35	0.08	0.6
	2	4.45			
	3	4.5			
	4	4.2			
	5	4			
	2	3.4			
	3	3			
	2	5.2			
	3	5.1			
	4	5.2			
5	5				

Continuación Cuadro No.152 Resultados de visita 30 de marzo

Canal en punto K	1	4.00	0.3	0.08	0.15
	2	3.4			
	3	3			
Post Kush Kush	1	4.30	0.6	0.08	0.6
	2	4			
	3	4.2			
	4	4.1			
	5	4			
Canal de lavado frontal	1	5.00	0.4	0.08	0.25

Cuadro No.153 Resultados de visita 7 de abril

Resultados 7 de abril				
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)
Canal I	1	3.10	0.81	0.03
	2	3.15		
	3	3.12		
	4	3		
	5	3		
Canal Principal	1	2.50	1.49	0.09
	2	2.43		
	3	2.4		
	4	2.54		
	5	2.55		
Conductores de caña canal A	1	3.00	1.64	0.06
	2	2.8		
	3	2.8		
	4	2.9		
	5	2.8		
Conductores de caña canal b	1	3.52	1.66	0.06
	2	3.45		
	3	3.56		
	4	3.75		
	5	3.67		
Conductores de caña canal C	1	2.30	1.69	0.11
	2	2.45		
	3	2.44		
	4	2.56		
	5	2.12		

Cuadro No.154. Resultados visita 12 de abril

Resultados 12 de abril					
Área	Corrida No.	Tiempo (± 0.15 s)	Distancia (± 0.01 m)	Profundidad (± 0.01 m)	Ancho (± 0.01 m)
Pre Kush kush	1	4.60	0.6	0.08	0.6
	2	4.35			
	3	4.67			
	4	5.3			
	5	4.1			
Post Kush Kush	1	5.10	0.5	0.07	0.6
	2	5.3			
	3	4.76			
	4	5.34			
	5	5.61			
Canal punto H	1	4.45	0.3	0.08	0.15
	2	4.65			
	3	4.76			
	4	4.24			
	5	4.67			
Canal de punto G	1	4.00	0.6	0.08	0.45
	2	4.3			
	3	4.1			
	4	4.67			
	5	4.5			
Post Kush Kush	1	4.78	0.5	0.07	0.6
	2	4.89			
	3	4.56			
	4	4.76			
	5	5.23			

A. Cálculos

Cálculo No. 72 “velocidad de flujo en canales”

$$V = \frac{D}{t}$$

Donde:

- V = velocidad
- D= Distancia
- t = Tiempo

Ejemplo:

$$V = \frac{0.81 \text{ m}}{3,07 \text{ s}} = 0.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales mostrados en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 73 “Área de canal”

$$A = P * L$$

Donde:

- A = área transversal de canal
- P = Profundidad del fluido
- L = Ancho de tubería

Ejemplo:

$$A = 0.23 * 0.03 = 0.01 \text{ m}^2$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales mostrados en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 74 “Caudal de canal”

$$q = A * V$$

Donde:

- q = caudal
- A = Área transversal de canal
- V = velocidad

Ejemplo:

$$q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.01 \text{ m}^2 * 0.26 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.0018 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales mostrados en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 75 “Conversión de caudal a L/s”

$$q_L = 1000 * q_{\frac{m^3}{s}}$$

Ejemplo:

$$q_L = 1000 * 0.0018 \frac{m^3}{s} = 1.82 \frac{L}{s}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales mostrados en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 76 “Cálculo de PPM a partir de Pol con ajuste de HPLC”

$$PPM \frac{mg}{L} = (Pol_z * 2600) * 0.955 + 29.229$$

Donde:

- PPM = partes por millón
- Pol = resultado de polarimetría

$$PPM \frac{mg}{L} = ((0.05 * 2600) * 0.955) + 29.229 = 153 \frac{mg}{L}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales y bombas mostrado en los Cuadros de datos intermedios. Se tomó en cuenta el ajuste por medio de Figura No.45 que corrige los datos del polarímetro a PPM de HPLC

Cálculo No. 77 “Cálculo de la masa de azúcar perdida en el tiempo”

$$m \frac{kg}{h} = \frac{q_L * PPM \frac{mg}{L}}{1000 \frac{g}{mg} * 1000 \frac{kg}{g}} * (3600) \frac{s}{h}$$

Donde:

- m = flujo másico
- q = caudal
- PPM = concentración de la muestra

Ejemplo:

$$m \frac{kg}{h} = \frac{1.82 \frac{L}{s} * 153 \frac{mg}{L}}{1000 \frac{g}{mg} * 1000 \frac{kg}{g}} * (3600) \frac{s}{h} = 1.00 \frac{kg}{h}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales y bombas mostradas en los Cuadros de datos intermedios. Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales y bombas mostrado en los Cuadros de datos intermedio.

Cálculo No. 78 “Conversión a lb/tonelada de caña molida por ingenio”

$$TC \frac{kg}{t} = \frac{mi \frac{kg}{h}}{\frac{kg \text{ molidas por el ingenio en el día}}{24 h}}$$

Donde:

- TC = libras de azúcar por Toneladas de caña molida al día

Ejemplo:

$$TC \frac{kg}{t} = \frac{2.18 \frac{kg}{h}}{\frac{12.132.7 kg}{24 h}} = 0.004 \frac{kg}{t}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de canales y bombas mostrado en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 79 “Cálculo para el caudal de bombas”

$$q \frac{m^3}{s} = \left(\frac{T(mL)}{1000 mL/t} \right) / 1000 \frac{L}{m^3}$$

Donde:

- T = Cantidad de ml de recipiente utilizado para la tara

Ejemplo:

$$q \frac{m^3}{s} = \frac{\frac{550 mL}{1000}}{95.4 s} = 0.0256 \frac{m^3}{s}$$

Este mismo cálculo se realizó para todas las muestras de bombas mostradas en los Cuadros de datos intermedios.

Cálculo No. 80 “Incertidumbre de la velocidad”

$$Incertidumbre V \frac{m}{s} = V \frac{m}{s} * \sqrt{\left(\frac{Incertidumbre de D}{D} \right)^2 + \left(\frac{Incertidumbre de t}{t} \right)^2}$$

Ejemplo:

$$Incertidumbre V \frac{m}{s} = 0.26 \frac{m}{s} * \sqrt{\left(\frac{0.01 m}{0.81 m} \right)^2 + \left(\frac{0.15 s}{3.07 s} \right)^2} = \pm 0.01 \frac{m}{s}$$

Se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No. 81 “Incertidumbre de área transversal”

$$\text{Incertidumbre } A \text{ m}^2 = A \text{ m}^2 * \sqrt{\left(\frac{\text{Incertidumbre de } P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\text{Incertidumbre de } L}{L}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } A \text{ m}^2 = A \text{ m}^2 * \sqrt{\left(\frac{0.01 \text{ m}}{0.03}\right)^2 + \left(\frac{0.01 \text{ m}}{0.23}\right)^2} = \pm 0.002 \text{ m}^2$$

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No. 82 “Incertidumbre de caudal”

$$\text{Incertidumbre } q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \sqrt{\left(\frac{\text{Incertidumbre de } A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\text{Incertidumbre de } V}{V}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \sqrt{\left(\frac{0.002 \text{ m}^2}{0.01 \text{ m}}\right)^2 + \left(\frac{0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)^2} = \pm 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No. 83: “Incertidumbre de conversión a l/s”

$$\text{Incertidumbre } q \frac{L}{s} = q \frac{L}{s} * \sqrt{\left(\frac{\text{Incertidumbre de } q}{q}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } q \frac{L}{s} = 1.81 \frac{L}{s} * \sqrt{\left(\frac{0.001}{0.0018}\right)^2} = \pm 0.62 \frac{L}{s}$$

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No 84. "Incertidumbre de masa de azúcar pérdida en el tiempo"

$$\text{Incertidumbre } \frac{\dot{m}}{h} \frac{kg}{h} = \frac{\dot{m}}{h} \frac{kg}{h} * \sqrt{\frac{\text{Incertidumbre de PPM } \left(\frac{mg}{L}\right)^2}{\left(\frac{PPM \left(\frac{mg}{L}\right)}{153 \left(\frac{mg}{L}\right)}\right)^2} + \frac{\text{Incertidumbre de } q \left(\frac{L}{s}\right)^2}{\left(\frac{q \left(\frac{L}{s}\right)}{1.82 \left(\frac{L}{s}\right)}\right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } \frac{\dot{m}}{h} \frac{kg}{h} = 1.003 \frac{kg}{h} * \sqrt{\left(\frac{5.12 \left(\frac{mg}{L}\right)}{153 \left(\frac{mg}{L}\right)}\right)^2 + \left(\frac{0.62 \left(\frac{L}{s}\right)}{1.82 \left(\frac{L}{s}\right)}\right)^2} = \pm 0.34 \frac{kg}{h}$$

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No. 85 "Incertidumbre de conversión a lb de azúcar por tonelada de caña molida"

$$\text{Incertidumbre } TC \frac{kg}{t} = TC \frac{kg}{t} * \sqrt{\frac{\text{Incertidumbre de } m \left(\frac{kg}{h}\right)^2}{\left(\frac{m \left(\frac{kg}{h}\right)}{2.18 \left(\frac{kg}{h}\right)}\right)^2}}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } TC \frac{kg}{t} = 0.004 \frac{kg}{t} * \sqrt{\left(\frac{0.75 \left(\frac{kg}{h}\right)}{2.18 \left(\frac{kg}{h}\right)}\right)^2} = \pm 0.0015 \frac{kg}{t}$$

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No 86. “Incertidumbre de conversión a kg de azúcar por tonelada métrica de caña molida”

$$\text{Incertidumbre } TC \frac{kg}{t} = TC \frac{kg}{t} * \sqrt{\left(\frac{\text{Incertidumbre } \frac{kg^2}{t}}{t} \right)}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } TC \frac{kg}{t} = 0.36 \frac{kg}{t} * \sqrt{\left(\frac{0.12 \frac{kg^2}{t}}{0.71 \frac{kg}{t}} \right)} = \pm 0.06 \frac{kg}{t}$$

345

Este mismo cálculo se utilizó para determinar la incertidumbre de los datos para todas las muestras analizadas durante el estudio. Esta incertidumbre puede verse en las tablas de datos intermedios, junto a su respectivo valor obtenido.

Cálculo No. 87 “Incertidumbre de PPM con corrección de HPLC”

$$\text{Incertidumbre } PPM \frac{mg}{L} = PPM \frac{mg}{L} * \sqrt{\left(\frac{3.34\%}{PPM \frac{mg}{L}} \right)^2}$$

Ejemplo:

$$\text{Incertidumbre } PPM \frac{mg}{L} = 153 \frac{mg}{L} * \sqrt{\left(\frac{3.34\%}{153 \frac{mg}{L}} \right)^2} = 5.12 \frac{mg}{L}$$

B. Datos intermedios

Cuadro No.155 Análisis de caudales día 8 de febrero

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
2.80	0.53	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	19.03	3.35
2.80	0.53	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	20.63	3.38
2.77	0.53	0.03	0.05	0.01	0.03	0.00	28.48	3.59
3.07	0.48	0.02	0.04	0.01	0.02	0.00	20.23	3.08
2.94	0.50	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	21.17	3.23

Cuadro No.156 Análisis de pérdidas 8 de febrero

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
2.88	7180.27	239.82	491.87	88.11	1069.28	191.54	2.17	0.39
1.78	4448.97	148.60	330.40	55.27	718.26	120.15	1.46	0.24
2.25	5615.98	187.57	575.77	75.12	1251.68	163.30	2.54	0.33
2.10	5243.53	175.13	381.96	59.46	830.34	129.25	1.68	0.26
2.61	6509.86	217.43	496.17	77.59	1078.63	168.68	2.19	0.34

Cuadro No.157 Análisis de caudales 17 de febrero

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
2.61	0.58	0.03	0.05	0.01	0.03	0.00	31.34	3.96
3.19	0.47	0.02	0.05	0.01	0.03	0.00	25.64	3.13
2.82	0.53	0.03	0.05	0.01	0.03	0.00	28.96	3.60
2.82	0.35	0.02	0.09	0.01	0.03	0.00	31.21	3.32

Cuadro No.158 Análisis de pérdidas 17 de febrero

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
1.10	2,760.53	92.20	311.47	40.72	677.10	88.52	1.45	0.19
1.90	4,746.93	158.55	438.09	55.41	952.36	120.45	2.04	0.26
1.70	4,250.33	141.96	443.16	57.11	963.40	124.16	2.07	0.27
0.43	1,096.92	36.64	123.23	13.76	267.89	29.91	0.57	0.06

Cuadro No.159 Análisis de caudales 24 de febrero

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
95.40					0.00	0.00	0.01	0.00
91.20					0.00	0.00	0.01	0.00
74.40					0.00	0.00	0.01	0.00
2.67	0.61	0.03	0.04	0.01	0.03	0.00	25.55	4.21
2.55	0.65	0.04	0.04	0.01	0.02	0.00	24.22	4.30
1.90	0.89	0.07	0.07	0.01	0.06	0.01	58.71	7.14

Cuadro No.160 Análisis de pérdidas 24 de febrero

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
3.46	8,620.41	287.92	0.18	0.01	0.39	0.02	0.00	0.00
4.20	10,457.83	349.29	0.23	0.01	0.49	0.03	0.00	0.00
9.93	24,685.42	824.49	0.66	0.04	1.43	0.08	0.00	0.00
0.07	203.04	6.78	18.68	3.14	40.60	6.82	0.09	0.01
0.06	178.21	5.95	15.54	2.81	33.77	6.10	0.07	0.01
0.67	1,692.84	56.54	357.76	45.15	777.75	98.15	1.71	0.22

Cuadro No.161 Análisis de caudales 3 de marzo

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
3.06	0.54	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	20.58	3.59
3.47	0.48	0.02	0.04	0.01	0.02	0.00	18.37	3.18
1.86	0.91	0.07	0.07	0.01	0.07	0.01	65.42	7.67

Cuadro No.162 Análisis de pérdidas 3 de marzo

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
0.05	140.96	4.71	10.44	1.86	22.70	4.03	0.05	0.01
0.05	153.38	5.12	10.14	1.79	22.05	3.89	0.05	0.01
0.58	1,469.37	49.08	346.05	42.21	752.28	91.76	1.67	0.20

Cuadro No.163 Análisis de caudales 10 de marzo

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
2.84	0.58	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	24.02	3.93
63.20	0.03	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	1.01	0.17
1.40	1.21	0.13	0.08	0.01	0.10	0.01	101.40	13.18
3.24	0.25	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	1.61	0.58
3.58	0.23	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	1.56	0.53

Cuadro No.164 Análisis de pérdidas 10 de marzo

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
0.04	128.55	4.29	11.12	1.86	24.17	4.03	0.05	0.01
0.06	178.21	5.95	0.65	0.11	1.41	0.24	0.00	0.00
0.17	451.34	15.07	164.76	22.11	358.17	48.07	0.78	0.10
0.02	78.89	2.63	0.46	0.17	0.99	0.36	0.00	0.00
0.02	81.37	2.72	0.46	0.16	0.99	0.34	0.00	0.00

Cuadro No.165 Análisis de caudales 17 de marzo

Tiempo promedio (s)	Velocidad (m/s)	± (m/s)	Área (m ²)	± m ²	Caudal (m ³ /s)	± m ³ /s	Caudal (L/s)	± l/s
93.67					0.00	0.00	0.01	0.00
91.33					0.00	0.00	0.01	0.00
80.33					0.00	0.00	0.01	0.00
2.42	0.06	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	3.38	0.49
5.30	0.14	0.00	0.05	0.01	0.01	0.00	6.79	0.73
4.84	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.74	0.11
4.78	0.13	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	4.52	0.60

Cuadro No.166 Análisis de pérdidas 17 de marzo

Pol (°Z)	Concentración ppm (mg/L)	± mg/l	Masa azúcar (kg/h)	± kg/h	Masa azúcar (Lb/h)	± kg/h	kg/t	± kg/t
3.78	9,414.97	314.46	0.20	0.01	0.43	0.02	0.00	0.00
5.70	14,182.33	473.69	0.31	0.02	0.67	0.04	0.00	0.00
9.92	24,660.59	823.66	0.61	0.03	1.32	0.07	0.00	0.00
0.31	798.96	26.69	9.73	1.45	21.15	3.14	0.04	0.01
0.29	749.30	25.03	18.32	2.05	39.83	4.45	0.08	0.01
0.00	29.23	0.98	0.08	0.01	0.17	0.03	0.00	0.00
0.55	1,394.88	46.59	22.69	3.09	49.33	6.71	0.10	0.01

Figura No.121 Diagrama caja y bigote para conductor de caña canal A

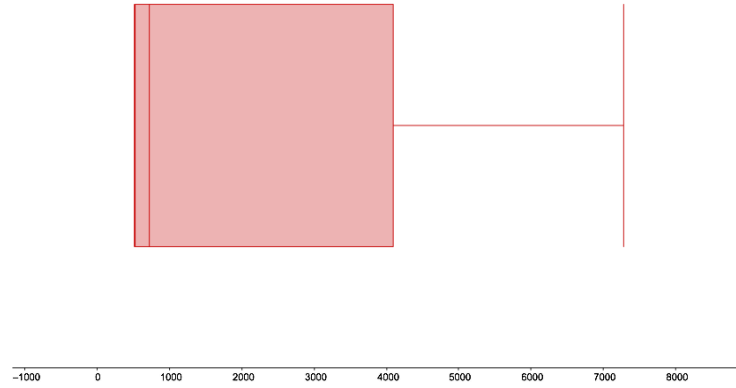


Figura No.122 Diagrama de caja y bigote para conductor de caña canal B

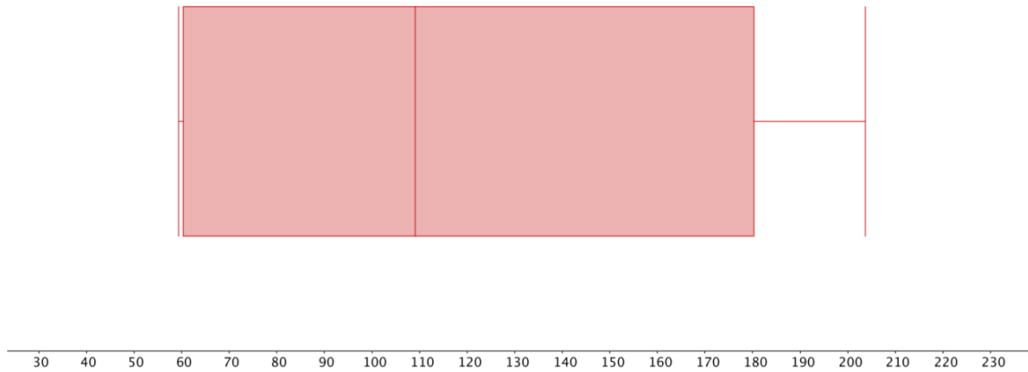


Figura No.123 Diagrama de caja y bigote para conductor de caña canal C

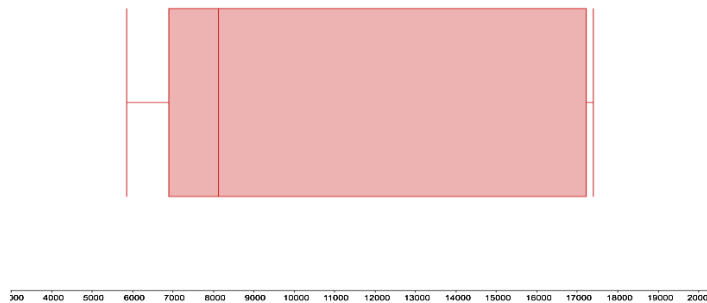


Figura No.124 Diagrama caja y bigote de bomba B32

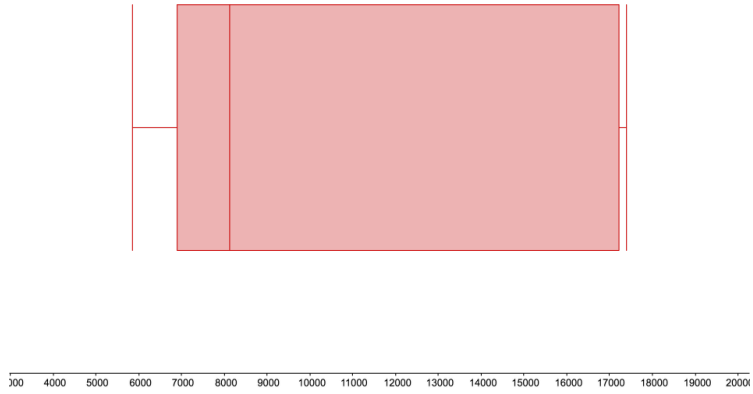


Figura No.125 Diagrama de caja y bigote para bomba B33

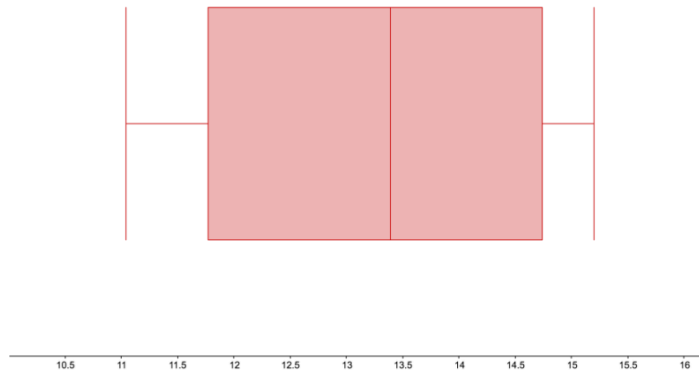


Figura No.126 Diagrama de caja y bigote para bomba B34

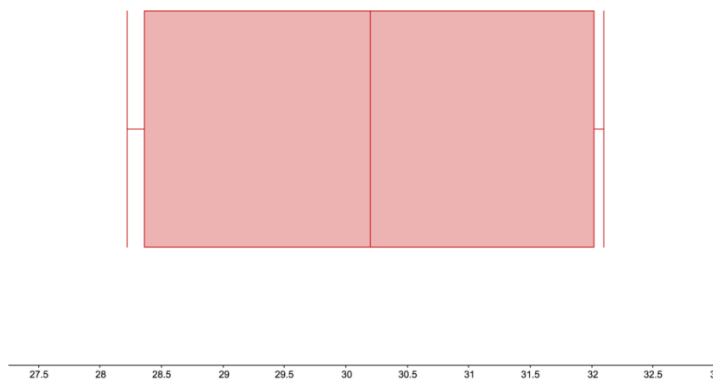


Figura No.127 Diagrama de caja y bigote para punto de control A de Tándem de molinos

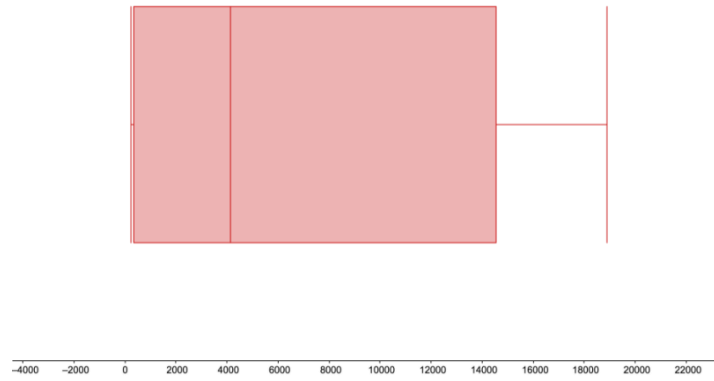


Figura No.128 Diagrama de caja y bigote para punto de control B de Tándem A de molinos.

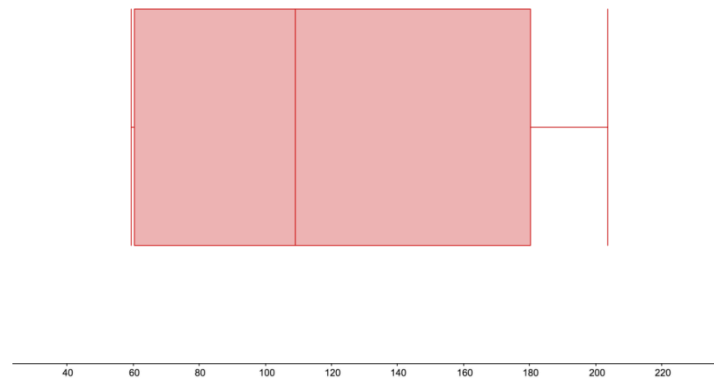


Figura No.129 Diagrama de caja y bigote para punto de control C de Tándem A de molinos.

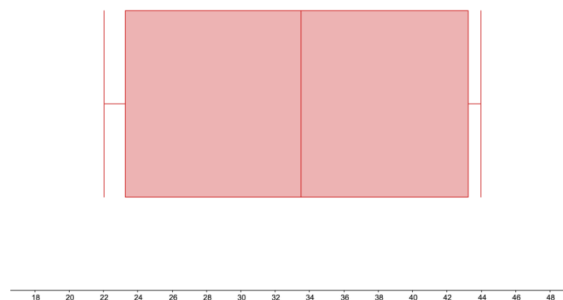


Figura No.130 Diagrama de caja y bigote para punto de control D de Tándem A de molinos.

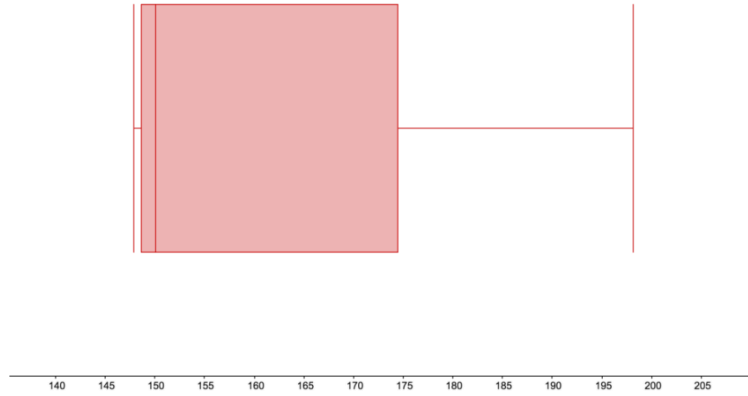


Figura No.131 Diagrama de caja y bigote para punto de control E de Tándem A de molinos.

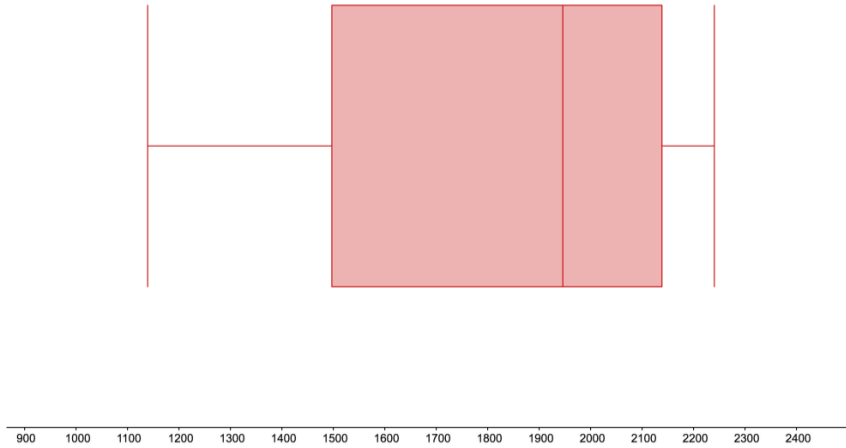


Figura No.132 Diagrama de caja y bigote para punto de control F de Tándem A de molinos

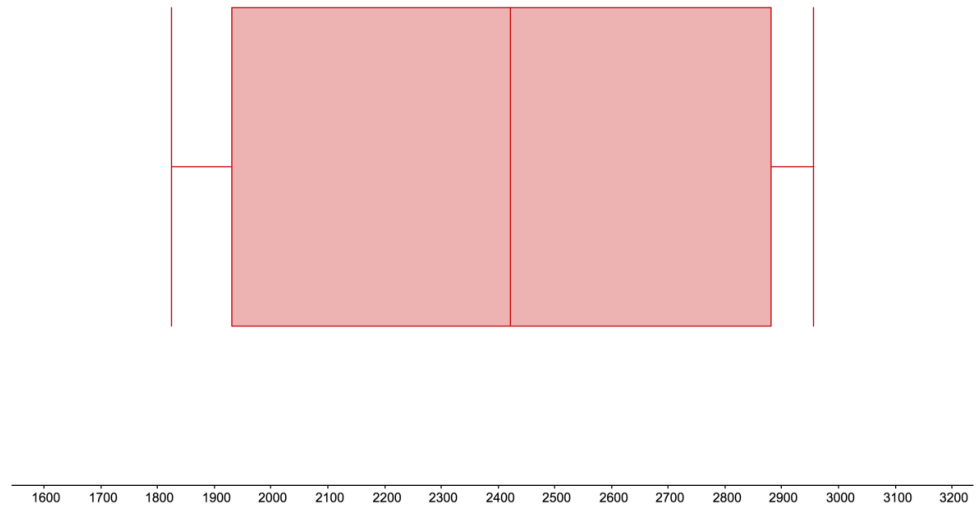


Figura No.133 Diagrama de caja y bigote para punto de control H de Tándem A de molinos

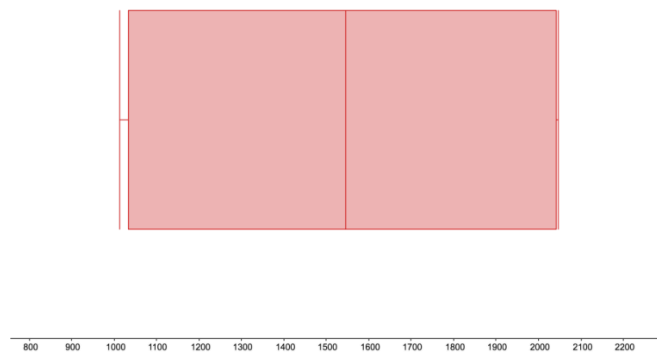


Figura No.134 Diagrama de caja y bigote para punto de control I de Tándem A de molinos

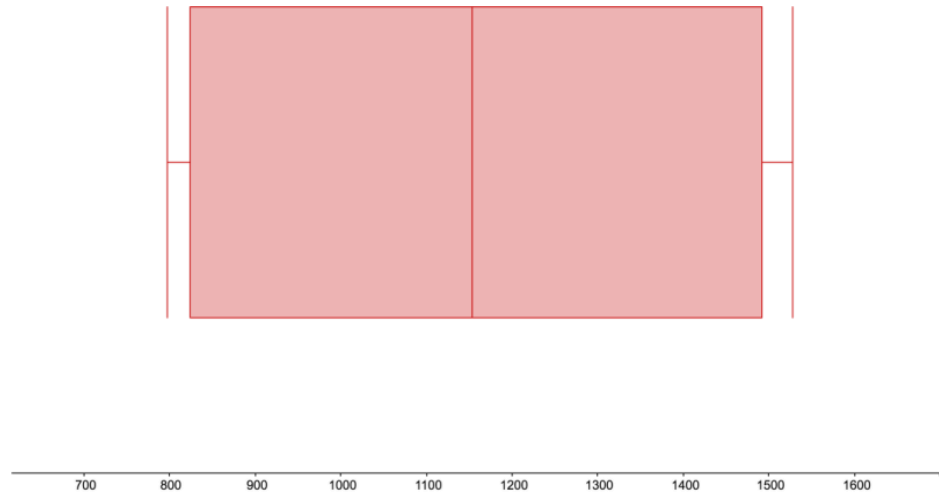
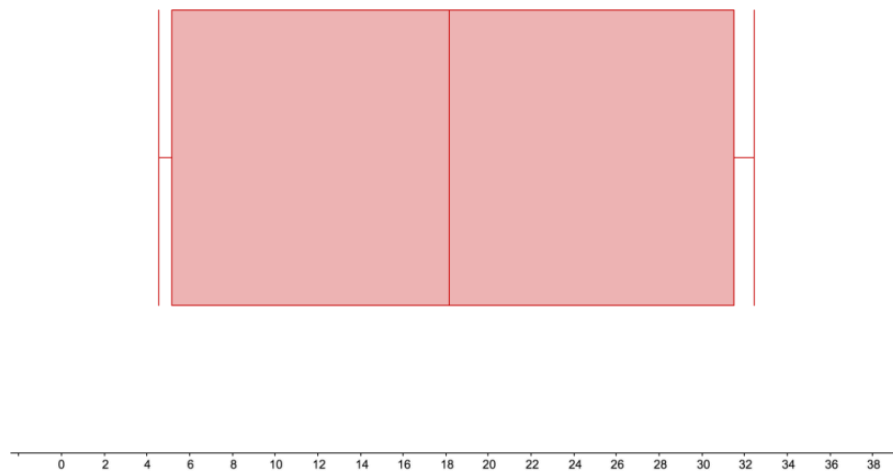


Figura No.135 Diagrama de caja y bigote para punto de control J de Tándem A de molinos



C. Figuras

Figura No.136 Bombas de maceración



En esta imagen se pueden observar los códigos y la posición de las bombas de maceración en relación al canal principal de efluentes para el Tándem A de molinos.

Figura No.137 Efluente de agua de enfriamiento para coronas de molinos



- Los efluentes de agua de enfriamiento para coronas del segundo nivel del Tándem A de molinos, se juntan en una sola tubería que luego descarga el agua directamente al canal de aguas residuales.

Figura No.138 Filtración de jugo mezclado proveniente de bombas de maceración y desagües a canal principal



El jugo que sale de las bombas cae sobre el soporte del equipo y luego entra a unos desagües que se encargan de depositar estos desechos directamente en el canal de aguas residuales del Tándem A de molinos.

Figura No.139 Filtraciones de jugo mezclado en bombas de maceración



- Esta imagen es de una bomba de maceración antes de un cambio de estopas, donde se puede ver la filtración del jugo mezclado directamente al canal de aguas residuales de Tándem A de molinos.

Figura No.140 Filtración de jugo mezclado en separador de bagazo



Figura No.141 Bagazo filtrado en la parte inferior del Tándem



Figura No.142 Conductores de caña en patio de Tándem A



Figura No.143 Metodología utilizada anteriormente para lavado de tablillas



Figura No.144 Filtraciones de bagazo en alimentación a conductores de banda hacia calderas



D. Cuadros

Cuadro No.167 Documento de seguimiento para el control de bombas e inversión asociada.

FF-001-BTA	Formato de seguimiento bombas	Pág. 1
------------	-------------------------------	--------

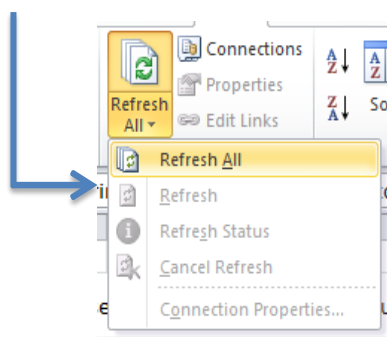
Reporte de seguimiento para bombas de jugo claro y mezclado en Tándem A

1 Llenar el formato presente en la pestaña de "Datos de entrada"

2 Se deben colocar los repuestos con la siguiente información

A	Numero en inventario
B	Código de pieza
C	Nombre de pieza
D	Costo en inventario

3 Oprimir la tecla de actualizar para tomar en cuenta



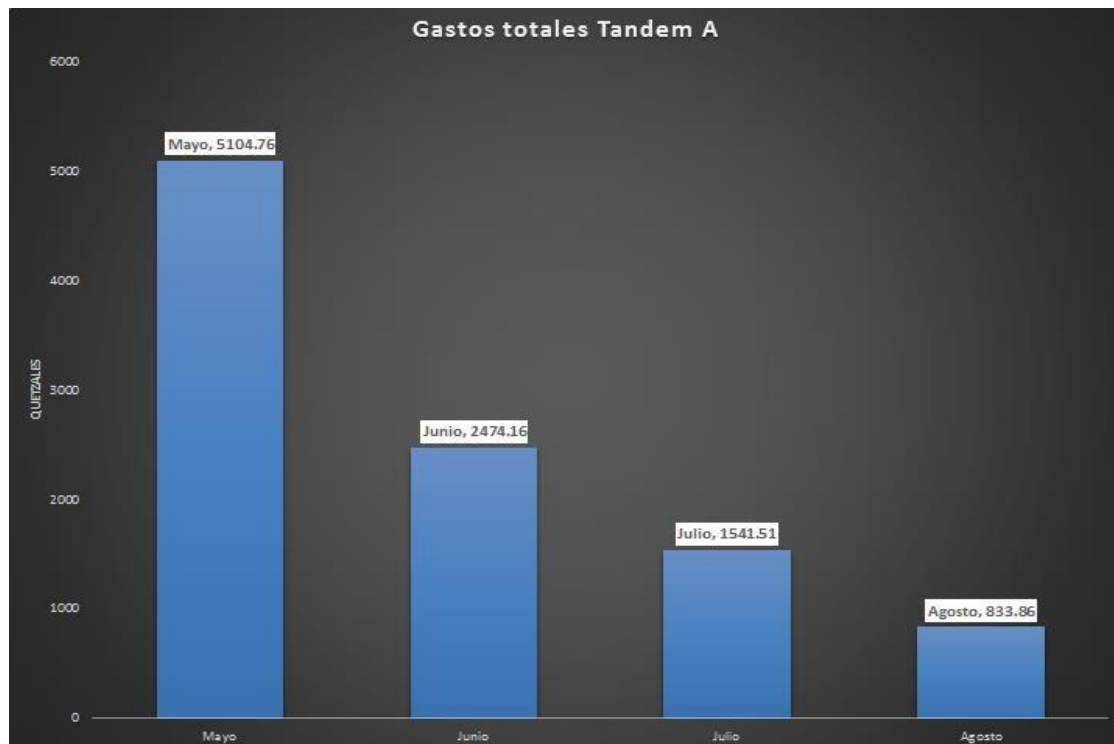
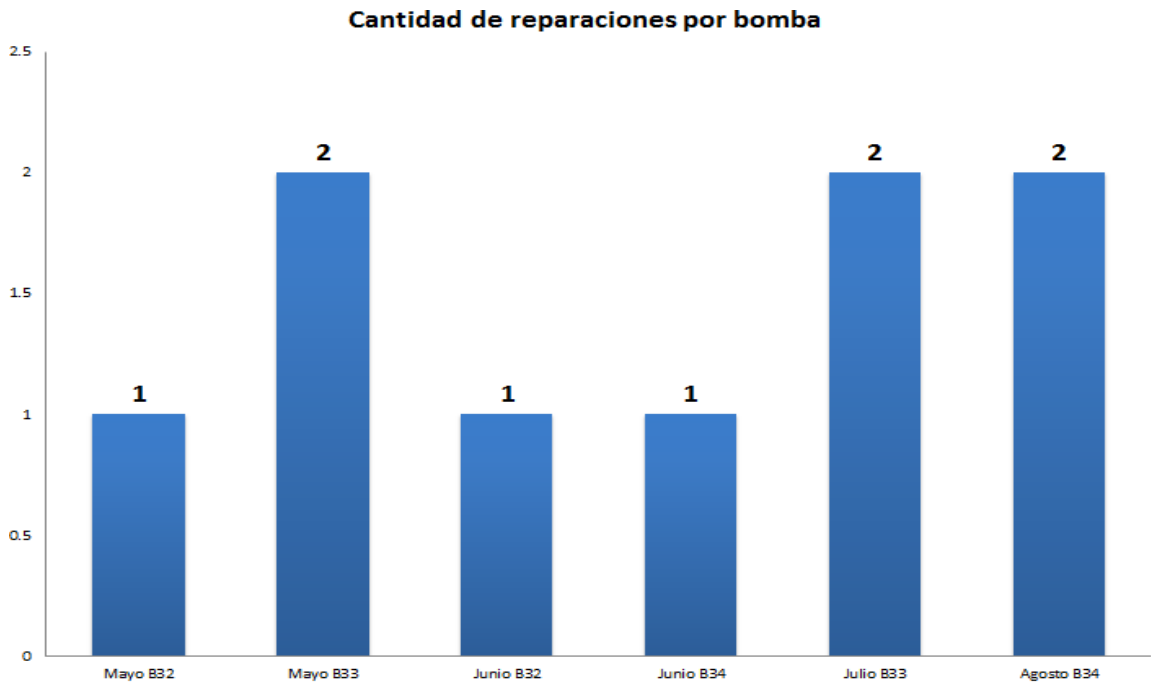
4 El resumen de gastos muestra el impacto en inventario para poder mantener el control de reparaciones

5 La grafica de costos, muestra la inversión asociada a cada bomba de maceración y jugo mezclado durante la zafra

6 La grafica de mantenimiento, genera un reporte de la cantidad de operaciones que se han realizado en las bombas del Tándem A durante los meses. Esto con el fin de mostrar la eficiencia de los mantenimientos

Control de mantenimiento Bombas							
Mes	Día	Codigo de orden	Codigo de Bomba	Detalles de orden	Repuesto	Codigo de reemplazo (Si aplica)	Total (Q)
Mayo	20	422119	B32	CHUELEAR PARA CASTIGADOR CAMISA SEGUN MEDIDAS. RESP.	FILTRO DESECHABLE DE 25 MICRAS GENERICO	86490	Q 291.91
Mayo	20	422119	B33	CHUELEAR PARA CASTIGADOR CAMISA SEGUN MEDIDAS. RESP.	PRESION TERM M24X1.5 DKO/M18X1.5 1000 BAR 8/2P)	87036	Q 4,522.88
Mayo	20	422119	B33	CHUELEAR PARA CASTIGADOR CAMISA SEGUN MEDIDAS. RESP.	FILTRO DE BOLSA DE 50 MICRAS GARDNER DENVER	97389	Q 289.97
Junio	6	435656	B34	BOMBA 4 MACERACION MOLINO 5	WIPPE GENERICO	17402	Q 19.73
Junio	8	436818	B32	BOMBA 4 MACERACION MOLINO 5	ESTOPA DE FIBRA FENOLICA 2777 1/2" TEADIT	111316	Q 2,454.43
Julio	10	438792	B33	BOMBA 4 MACERACION MOLINO 5	NIPLE GALVANIZADO ROSC. 1-1/4" X 4" GENERICO	1359	Q 7.49
Julio	13	433658	B33	AS DE ACERO INOX. PARA EJE DE BOMBA 4MACERACION MOLIN	ESTOPA DE FIBRA FENOLICA 2777 1/2" TEADIT		Q 1,534.02
Agostc	25	433658	B34	AS DE ACERO INOX. PARA EJE DE BOMBA 4MACERACION MOLIN	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-3/4" X 1-3/4" GENERICO		Q 820.18
Agostc	17	433658	B34	AS DE ACERO INOX. PARA EJE DE BOMBA 4MACERACION MOLIN	TUBO INOXIDABLE 304 CED. 40 1/4" GENERICO		Q 13.68

Control de gastos en planta							
Sum of Total	6	8	10	13	17	20	25 Grand Total
Mayo						5104.76	Q 5,104.76
422119						5104.76	Q 5,104.76
Junio	19.73	2454.43					Q 2,474.16
435656	19.73						Q 19.73
436818		2454.43					Q 2,454.43
Julio			7.49	1534.02			Q 1,541.51
433658				1534.02			Q 1,534.02
438792			7.49				Q 7.49
Agosto					13.68	820.18	Q 833.86
433658					13.68	820.18	Q 833.86
Grand Total	19.73	2454.43	7.49	1534.02	13.68	5104.76	820.18 Q 9,954.29



Se realizó un Excel para el correcto seguimiento de los mantenimientos y gastos realizados por compra y reparación de equipos, de forma que se pueda dar visibilidad de la cantidad de problemas que se han tenido en cada equipo y el gasto total. Este archivo es un Excel que cuenta con instrucciones de uso, pero las principales gráficas y tablas pueden verse en las Figuras No. 21,22 y Cuadros No. 28 y 29.

Cuadro No.168 Cronograma de revisión y mantenimiento de bombas de maceración y de jugo mezclado para Tándem A de molinos

Cronograma de revisión bombas Tándem A de molinos durante la zafra					
Día de zafra	Bombas				Estado
	B32	B33	B34	B35	
1					Revisión de bomba en sitio
2					Agendar cambios identificados en torno
3					Revisión de bomba en sitio
4					Agendar cambios identificados en torno
5					Revisión de bomba en sitio
6					Realizar preparaciones para reparación
7					Mantenimiento de revisión de estopas y realizar cambios identificados
8					Revisión de bomba en sitio
9					Revisión de bomba en sitio
10					Revisión de bomba en sitio
11					Revisión de bomba en sitio
12					Revisión de bomba en sitio
13					Revisión de bomba en sitio
14					Realizar preparaciones para reparación
15					Mantenimiento de revisión de estopas y realizar cambios identificados

FF-002-BTA	Cronograma de revisión de bombas	Pág. 2
------------	----------------------------------	--------

Detalles de semanas y fechas del mes			
Año	M e s	Fecha	No. Semana
2017	Diciembre	12/31/2017	1
2017	Diciembre	12/30/2017	1
2017	Diciembre	12/29/2017	1
2017	Diciembre	12/28/2017	1
2017	Diciembre	12/27/2017	1
2017	Diciembre	12/26/2017	1
2017	Diciembre	12/25/2017	1
2017	Diciembre	12/24/2017	2
2017	Diciembre	12/23/2017	2
2017	Diciembre	12/22/2017	2
2017	Diciembre	12/21/2017	2
2017	Diciembre	12/20/2017	2
2017	Diciembre	12/19/2017	2
2017	Diciembre	12/18/2017	2
2017	Diciembre	12/17/2017	3
2017	Diciembre	12/16/2017	3
2017	Diciembre	12/15/2017	3
2017	Diciembre	12/14/2017	3
2017	Diciembre	12/13/2017	3
2017	Diciembre	12/12/2017	3
2017	Diciembre	12/11/2017	3

Seleccionar la semana a evaluar.

Año	Mes	Semana
2017	Octubre	<u>1</u>
2017	Octubre	<u>2</u>
2017	Octubre	<u>3</u>
2017	Octubre	<u>4</u>
2017	Octubre	<u>5</u>
2017	Noviembre	<u>6</u>
2017	Noviembre	<u>7</u>
2017	Noviembre	<u>8</u>
2017	Noviembre	<u>9</u>
2017	Noviembre	<u>10</u>
2017	Noviembre	<u>11</u>
2017	Diciembre	<u>12</u>
2017	Diciembre	<u>13</u>
2017	Diciembre	<u>14</u>
2017	Diciembre	<u>15</u>
2017	Diciembre	<u>16</u>
2018	Enero	<u>17</u>
2018	Enero	<u>18</u>
2018	Enero	<u>19</u>
2018	Enero	<u>20</u>
2018	Enero	<u>21</u>
2018	Febrero	<u>22</u>

Cronograma de revisión Bombas Tándem A de molinos durante la zafra						
Dia de zafra	Bombas				Estatus	Observaciones
	B32	B33	B34	B35		
1					Revisión de bomba en Sitio	Filtración de jugo B32
2					Agendar cambios identificados en torno	Agendado cambio de estopas
3					Revisión de bomba en Sitio	
4					Agendar cambios identificados en torno	
5					Revisión de bomba en Sitio	
6					Realizar preparaciones para reparación	
7					Mantenimiento de Revisión de estopas y realizar cambios identificados	Realizado cambio de estopas

Ver revisión de turno

Cronograma de visita diaria				
No turno	Hora	Detalles	Detalles	Observaciones
1	7:00 AM	Revisión cualitativa de las bombas		
		B32	Bombas de maceración	Filtración de jugo
		B33	Bombas de maceración	
		B34	Bombas de maceración	
		B35	Bombas de maceración	
		B1-32	Bombas de jugo claro	
		B1-31	Bombas de jugo claro	
		B-36	Bombas de jugo claro	
		B1-35	Bombas de jugo claro	
2	1:00 PM	Revisión cualitativa de las bombas		
		B32	Bombas de maceración	Filtración de jugo
		B33	Bombas de maceración	
		B34	Bombas de maceración	
		B35	Bombas de maceración	
		B1-32	Bombas de jugo claro	
		B1-31	Bombas de jugo claro	
		B-36	Bombas de jugo claro	
		B1-35	Bombas de jugo claro	
2	6:00 PM	Revisión cualitativa de las bombas		
		B32	Bombas de maceración	Revisado
		B33	Bombas de maceración	
		B34	Bombas de maceración	
		B35	Bombas de maceración	
		B1-32	Bombas de jugo claro	
		B1-31	Bombas de jugo claro	
		B-36	Bombas de jugo claro	
		B1-35	Bombas de jugo claro	

6. Análisis de costo de las propuestas generadas y estandarización del proceso de costeo y gestión de proyectos.

Figura No.145 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.1.

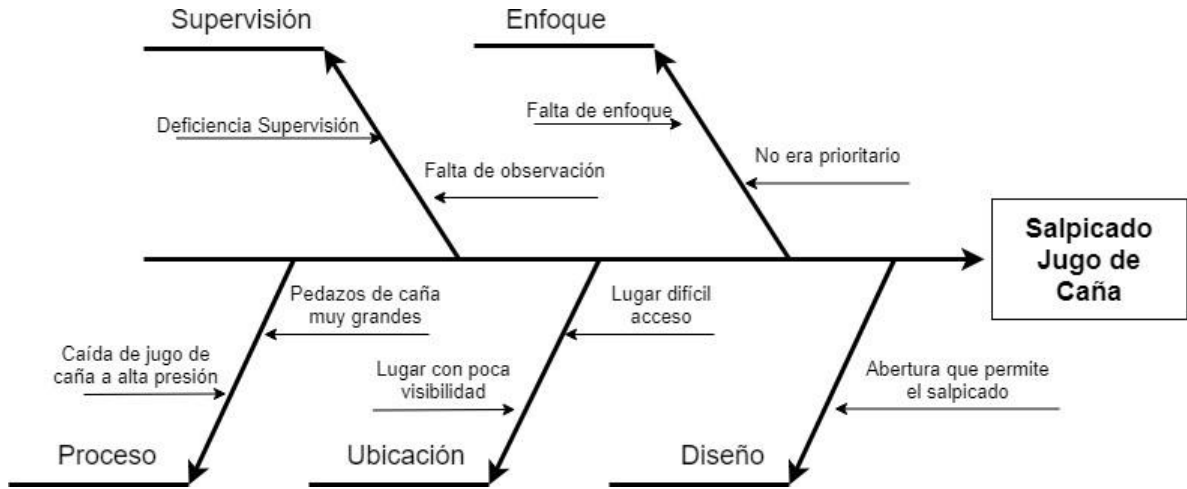


Figura No.146 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.2.



Figura No.147 Diagrama Ishikawa elaborado para la propuesta No.3.



Figura No.148 Diagrama de Ishikawa elaborado para la propuesta No.4.



Figura No.149 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.1.

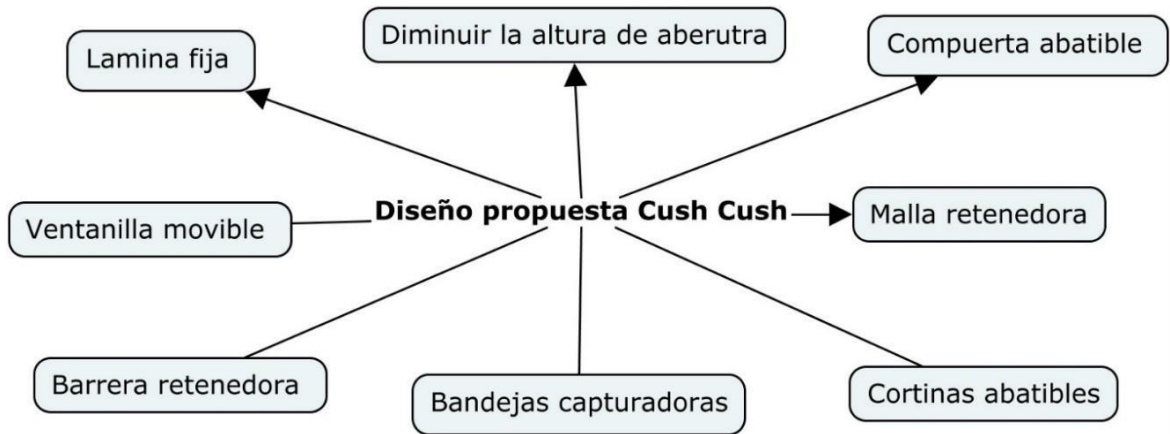


Figura No.150 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.2.



Figura No.151 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.3.

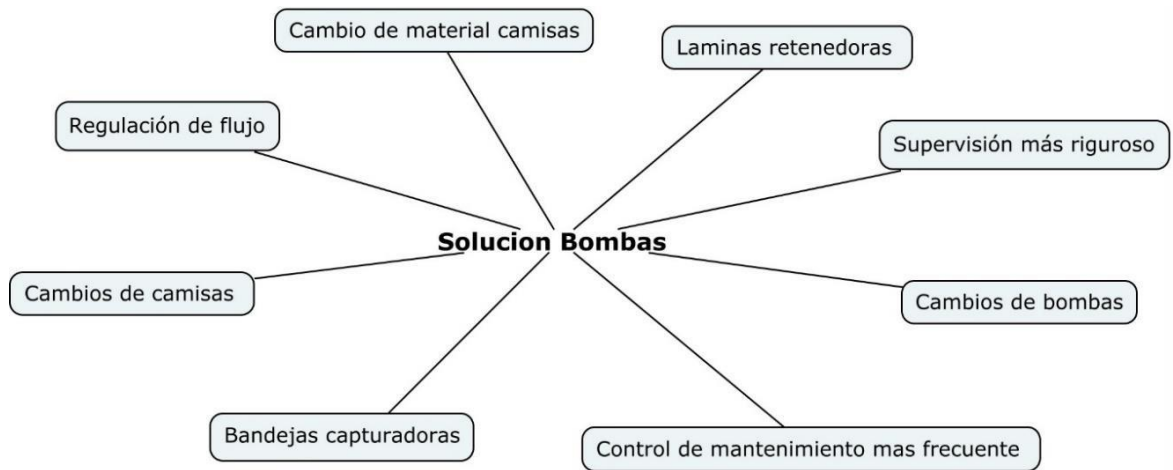


Figura No.152 Lluvia de ideas para analizar posibles soluciones para la propuesta No.4.

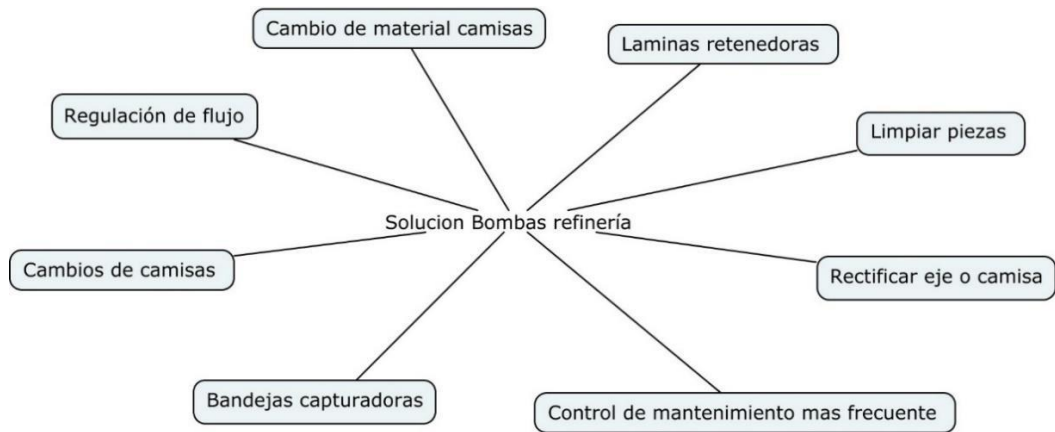


Figura No.153 Sketch ventanilla movable (cuatro vistas)

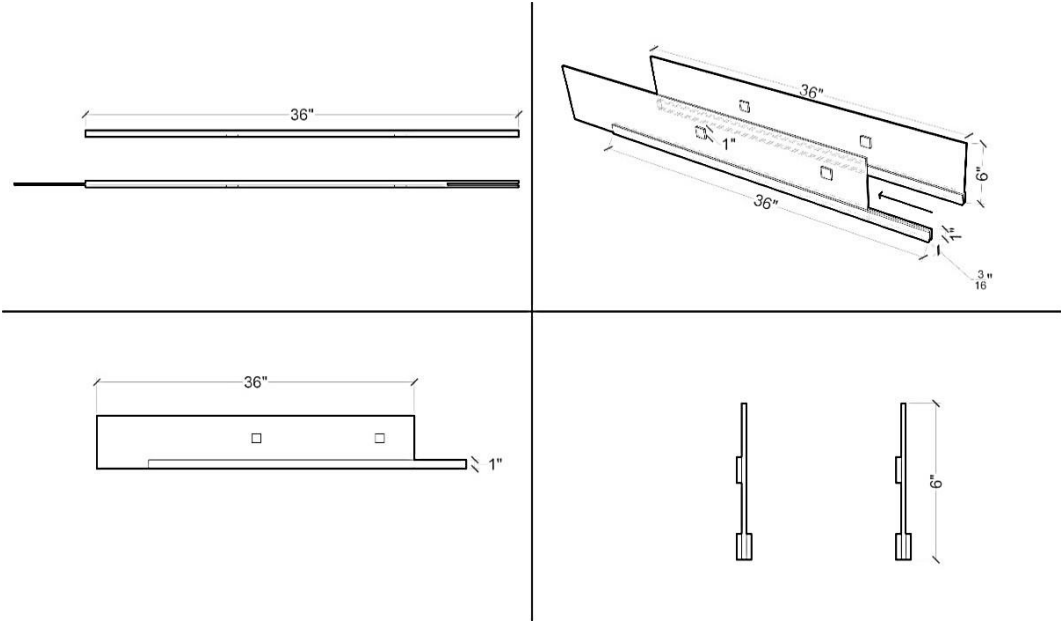


Figura No.154 Sketch ventanilla movable vista de perspectiva

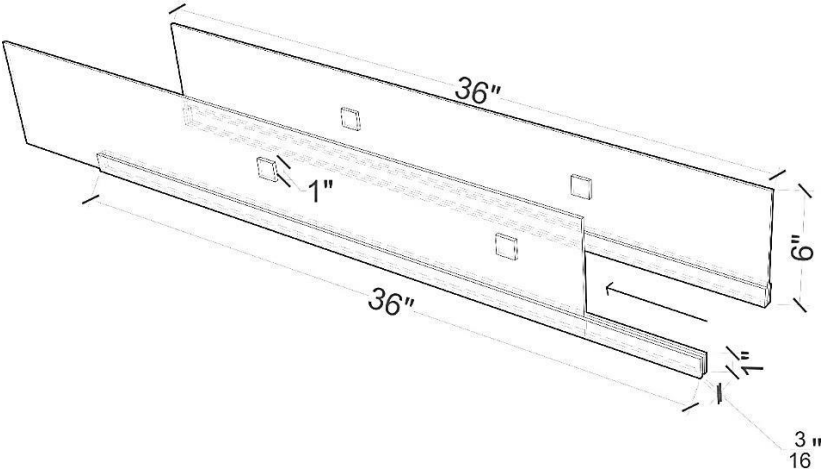


Figura No.155 Sketch matajuntas (cuatro vistas)

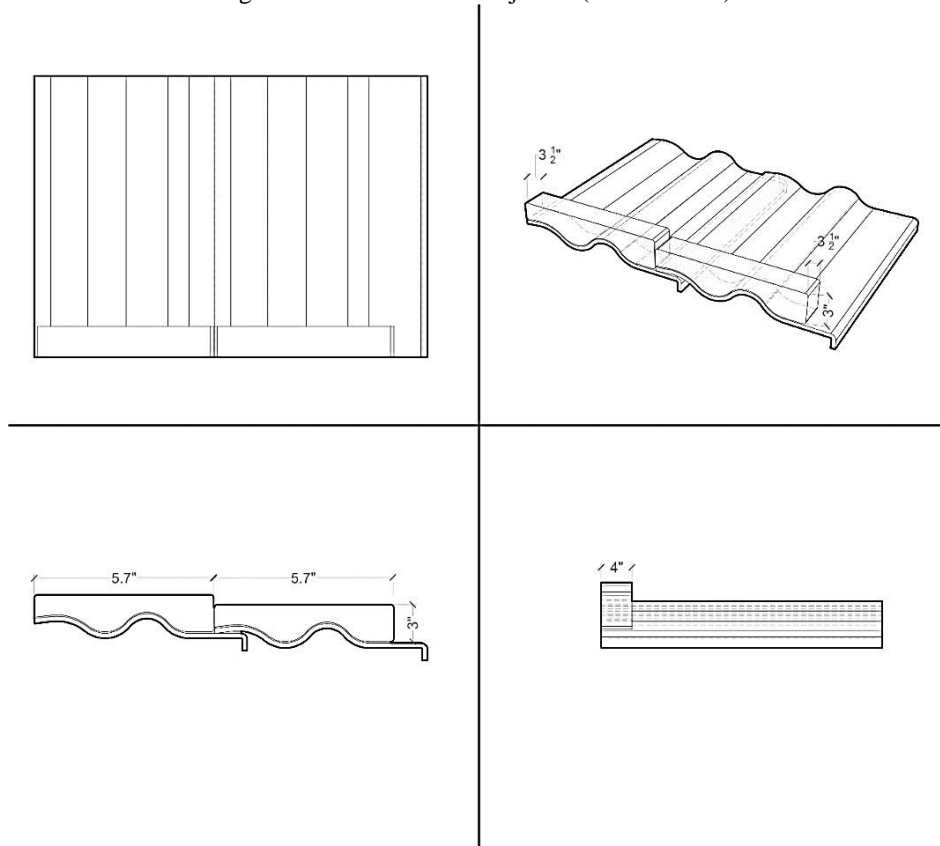


Figura No.156 Sketch Matajuntas vista de perspectiva

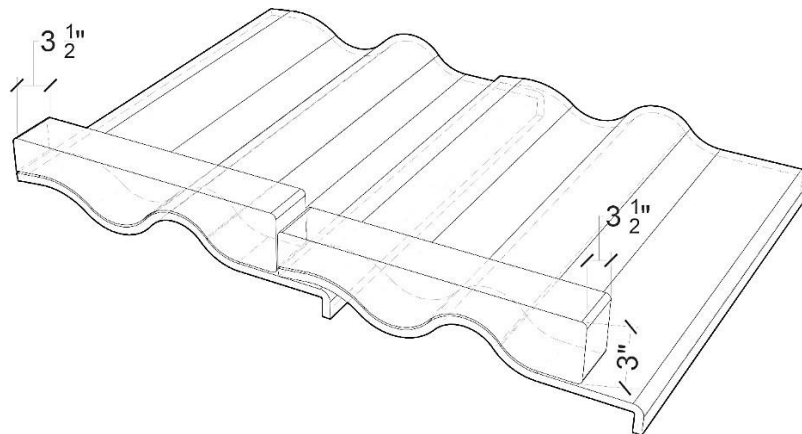


Figura No.157 Sketch camisas (cuatro vistas)

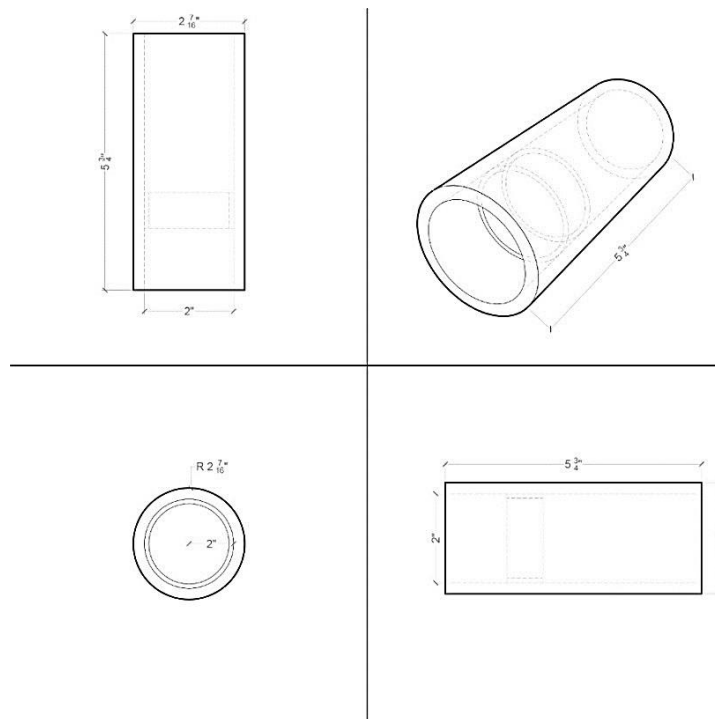


Figura No.158 Sketch camisa vista de perspectiva

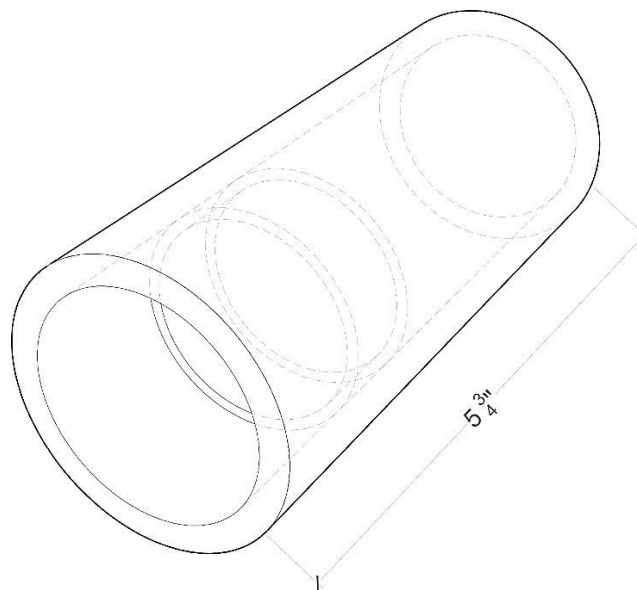


Figura No.159 Sketch bandejas capturadoras (cuatro vistas)

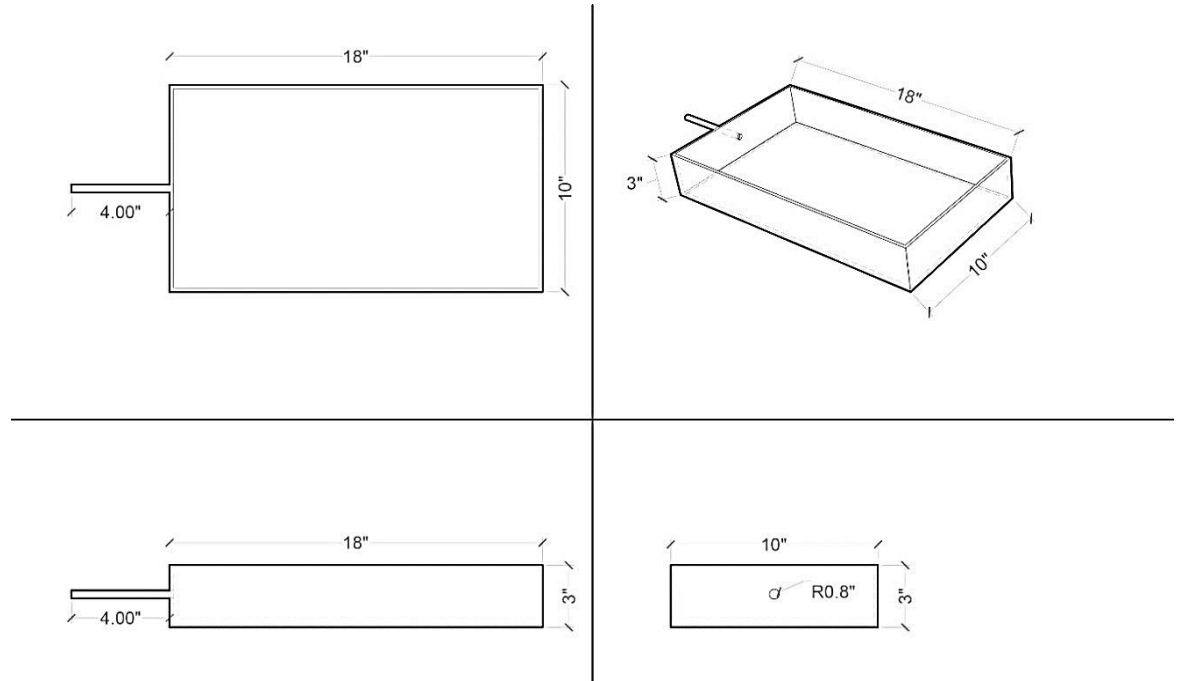
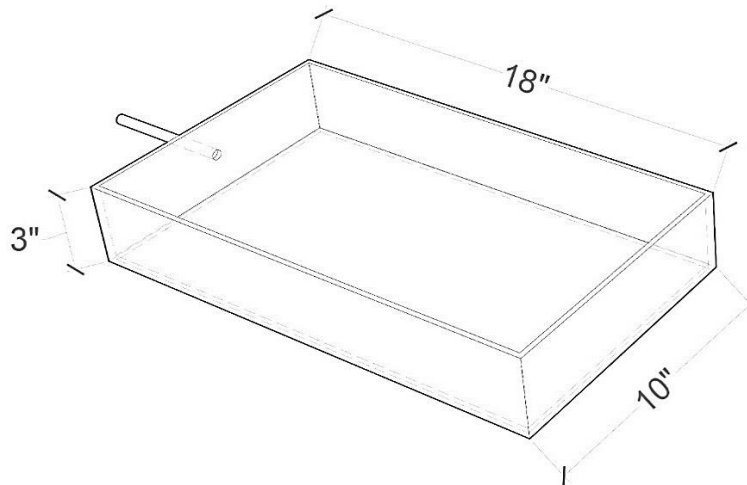


Figura No.160 Sketch bandeja vista de perspectiva



Cuadro No.169 Análisis Crítico propuesta No.1

Propuesta a analizar	Impacto de implementación de 8 ventanillas móviles en equipo Cush Cush para evitar el salpicado de jugo de caña	
	<i>Pre implementación ventanilla movible</i>	<i>Post implementación ventanilla movible</i>
Pregunta crítica		
¿Qué?	Salpicado de jugo de caña por los espacios destapados en el equipo Cush Cush.	Eliminar el salpicado por medio de la implementación de una ventanilla movible que evite el salpicado. Las ventanillas móviles
¿Dónde?	Espacios abiertos del equipo Cush Cush.	propuestas serán implementadas en los espacios abiertos del Cush Cush donde salpica el jugo de caña. Se propone la implementación de
¿Cuándo?	Los espacios abiertos del Cush Cush permanecen Siempre abiertos durante toda la zafra 2017-2018 permitiendo el desperdicio de jugo de caña.	las ventanillas móviles durante la etapa de reparación 2018 para asegurar mantener cerrados los espacios durante toda la zafra 2018-2019 y solo abrirlos cuando se necesite hacer mantenimiento.
¿Quién?	El ingenio está Siendo perjudicado por una pérdida indeterminada de azúcar en el área de molinos.	El ingenio deja de perder azúcar en este lugar definido y tiene una mejor eficiencia de producción.
¿Cómo?	Se detectó por medio del método de polimetría una pérdida de azúcar por el salpicado de jugo de caña.	Elimina la pérdida de azúcar por medio de la ventanilla que evita el salpicado de jugo de caña y el desperdicio.
Decisión	Implementar la ventanilla movible	
Impacto	Se eliminará totalmente la pérdida de azúcar en ese punto por medio de la implementación de esta propuesta y aumentará la eficiencia de producción del ingenio.	

Cuadro No.170 Análisis Crítico propuesta No.2

Propuesta a analizar	Impacto de implementación de matajuntas en los conductores de patio	
<i>Pregunta crítica</i>	<i>Pre implementación matajuntas</i>	<i>Post implementación matajuntas</i>
¿Qué?	Caída de caña por los extremos de los conductores.	Eliminar la caída de caña por medio de la implementación de matajuntas en los extremos del conductor.
¿Dónde?	Extremos doblados del conductor que causan caída de bagazo.	Los matajuntas propuestos serán implementados en los extremos del conductor para evitar que la base se doble y que caiga la caña.
¿Cuándo?	Los extremos del conductor se doblan a durante la zafra 2017-2018 permitiendo que la caña se caiga del mismo.	Se propone implementar los matajuntas durante la etapa de reparación para asegura que los extremos de los conductores No se doblan durante la zafra 2018-2019.
¿Quién?	El ingenio está Siendo perjudicado por una pérdida determinada de azúcar en el área de patios.	El ingenio deja de perder azúcar en los conductores y tiene una mejor eficiencia de producción.
¿Cómo?	Se detectó por medio de polimetría una pérdida de azúcar por del desperdicio de caña en los conductores.	Se elimina la perdida de azúcar por medio de la implementación de los matajuntas que evitan que la caña se caiga de los conductores.
Decisión	Implementar los matajuntas en los conductores	
Impacto	Se eliminará totalmente la perdida de azúcar en ese punto por medio de la implementación de esta propuesta y aumentará la eficiencia de producción del ingenio.	

Cuadro No.171 Análisis Crítico propuesta No.3

Propuesta a analizar	Impacto de cambios de camisas en las bombas B32, B33 y B34 en el área de molinos	
<i>Pregunta Critica</i>	<i>Pre implementación matajuntas</i>	<i>Post implementación matajuntas</i>
¿Qué?	Fugas en las bombas de jugo de caña por camisas deterioradas y desajustadas.	Eliminar las fugas de las bombas cambiando las camisas por nuevas.
¿Donde?	En las bombas B32, B33 y B34 del Tándem A en el área de molinos.	Se cambiarán las camisas por nuevas en las bombas detectadas con problema de fugas (B32, B33 y B34).
¿Cuándo?	Las camisas por su antigüedad y deterioro provocan fugas de jugo de caña durante toda la zafra 2017-2018.	Se propone implementar las camisas etapa de reparación 2018 para eliminar las fugas durante la siguiente zafra.
¿Quién?	El ingenio está siendo perjudicado por una perdida determinada de azúcar en el área de molinos.	El ingenio elimina la pérdida de azúcar provocada por las fugas de las bombas y tiene una mejor eficiencia de producción.
¿Cómo?	Se detectó por medio de polimetría una pérdida de azúcar provocada por las fugas de las bombas determinadas.	Se elimina la pérdida de azúcar por medio de cambiar las camisas por nuevas que aseguren evitar las fugas.
Decisión	Cambiar las camisas de las bombas B32, B33 y B34 del Tándem A del molino.	
Impacto	Se eliminará totalmente la perdida de azúcar en ese punto por medio de la implementación de esta propuesta y aumentará la eficiencia de producción del ingenio.	

Cuadro No.172 Análisis crítico propuesta No.4

Propuesta a analizar	Impacto de implementación de bandejas en nueve bombas en área de refinería.	
<i>Pregunta crítica</i>	<i>Pre implementación matajuntas</i>	<i>Post implementación matajuntas</i>
¿Qué?	Fugas en las bombas de jugo de magma y jugo caña por camisas deterioradas y desajustadas.	Eliminar las fugas de las bombas implementando bandejas capturadoras de desperdicio.
¿Dónde?	Desperdicio en bombas de licor final, primera filtración, licor tratado y precapa en el área de refinería.	Implementar bandejas almacenadoras de desperdicio en las bombas detectadas con problema de fugas descritas.
¿Cuándo?	Se detectaron fugas de magma y jugo de caña por camisas desajustadas durante toda la zafra 2017-2018.	Se propone implementar las bandejas durante la zafra 2018 para asegurar que el exceso No se desperdicie.
¿Quién?	El ingenio está siendo perjudicado por una pérdida determinada de azúcar en el área de refinería.	El ingenio soluciona la pérdida de azúcar provocada por las fugas de las bombas y tiene una mejor eficiencia de producción.
¿Cómo?	Se detectó por medio de polimetría una pérdida de azúcar provocada por las fugas de las bombas determinadas.	Se elimina la pérdida de azúcar por medio de la implementación de bandejas capturadoras las cuales hacen que la magma y jugo de caña No se desperdicie.
Decisión	Implementar las bandejas en los nueve bombos propuestas en el área de refinería.	
Impacto	Se evitará que las fugas de magma y jugo de caña se desperdicie por medio de la implementación de esta propuesta y aumentará la eficiencia de producción del ingenio.	

Cuadro No.173 Descripción de materiales propuesta No.1

Corporativo	Descripción
999	LAMINA HIERRO NEGRO 3/16"
6778	VARILLA CORRUGADA 3/8"
1790	HEMBRA HIERRO NEGRO 3/16" X 1"
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO
37646	DISCO P/PULIR 1/4" X 7/8" X 4-1/2"
5053	ACETILENO (CILINDRO)
5049	OXÍGENO (CILINDRO)

Cuadro No.174 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.1

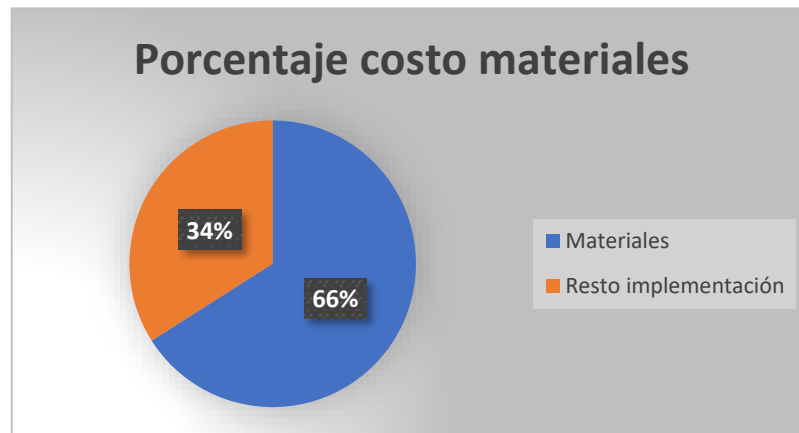
Corporativo	Descripción	Cantidad (Ocho tramos)	Presentación mínima	UM
999	LAMINA HIERRO NEGRO 3/16"	12 (3 X 0.5)	32 (8 X 4)	pie2
6778	VARILLA CORRUGADA 3/8"	8	20	pie
1790	HEMBRA HIERRO NEGRO 3/16" X 1"	48	60	pie
5186	ELECTRODO E7018 GENERICO	5	5	lb
37646	DISCO P/PULIR 1/4" X 7/8" X 4-1/2"	2	2	c/u
5053	ACETILENO (CILINDRO)	1	1	c/u
5049	OXIGENO (CILINDRO)	1	1	c/u

Cuadro No.175 Costo materiales propuesta No.1

Corporativo	Descripción	Costo	UM	Cantidad (Ocho tramos)	Presentación mínima	Costo total
999	LÁMINA HIERRO NEGRO 3/16"	Q19.14	pie2	12 (3 X 0.5)	32 (8 X 4)	Q612.48
6778	VARILLA CORRUGADA 3/8"	Q1.03	pie	8	20	Q20.60
1790	HEMBRA HIERRO NEGRO 3/16" X 1"	Q1.63	pie	48	60	Q97.80
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO	Q5.26	lb	5	5	Q26.30
37646	DISCO P/PULIR 1/4" X 7/8" X 4-1/2"	Q11.25	c/u	2	2	Q22.50
5053	ACETILENO (CILINDRO)	Q384.84	c/u	1	1	Q384.84
5049	OXÍGENO (CILINDRO)	Q138.79	c/u	1	1	Q138.79

Costo total p/fabricar 8 tramos Q1,303.31

Figura No.161 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.1



Cuadro No.176 Descripción de materiales propuesta No.2

Corporativo	Materiales
Externo	MATAJUNTAS ACERO FUNDIDO
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO

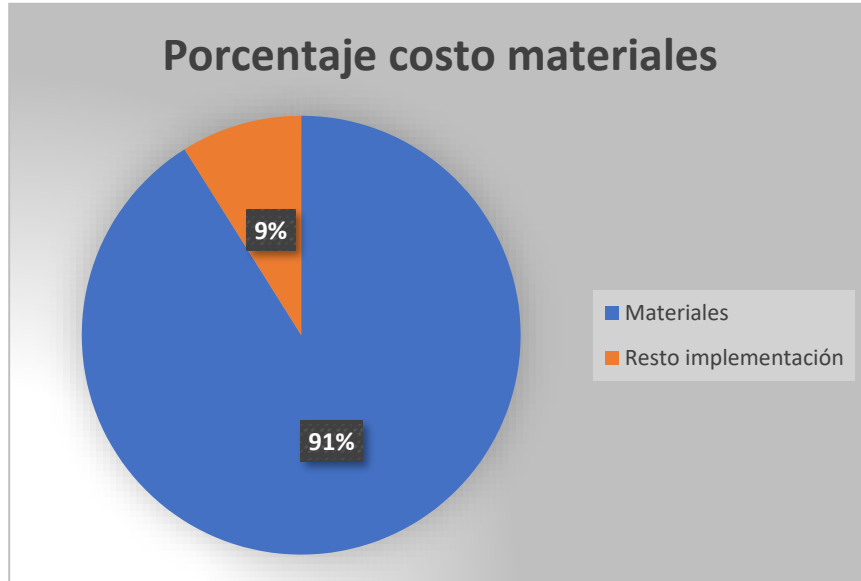
Cuadro No.177 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.2

#	Materiales	Cantidad	UM
Externo	MATAJUNTAS ACERO FUNDIDO	1100	piezas
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO	57	lb

Cuadro No.178 Costo materiales propuesta No.2

Corporativo	Materiales	Cantidad	UM	Costo c/u	Costo total
ExterNo	MATAJUNTAS ACERO FUNDIDO	1100	piezas	Q22.00	Q24,200.00
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO	57	lb	Q5.26	Q299.82
				Costo Total	Q24,499.82

Figura No.162 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.2



Cuadro No.179 Descripción de materiales propuesta No.3

Corporativo	Descripción
79844	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENÉRICO

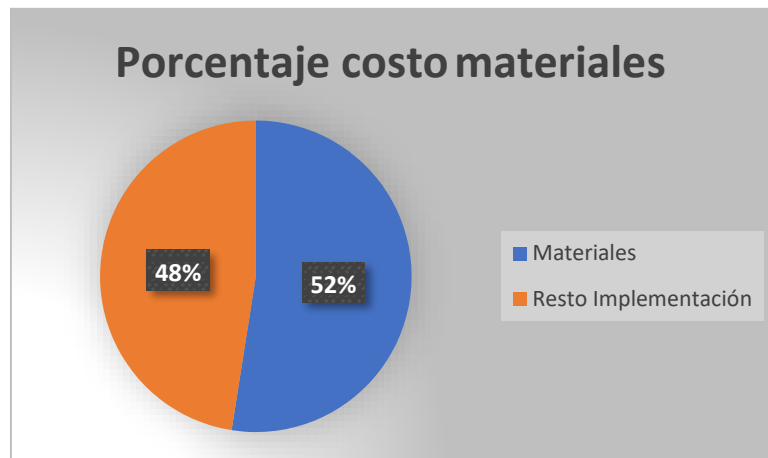
Cuadro No.180 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.3

Corporativo	Descripción	Cantidad	UM
79844	BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENÉRICO	3	Piezas

Cuadro No.181 Costo materiales propuesta No.3

Descripción	Cantidad	UM	Costo c/u	Costo Total
BUSHING ACERO INOXIDABLE 2-5/8" X 1-3/8" GENÉRICO	3	Piezas	Q391.47	Q1,174.41

Figura No.163 Porcentaje de representación de costos de materiales propuesta No.3



Cuadro No.182 Descripción de materiales propuesta No.4

Corporativo	Descripción
999	LÁMINA HIERRO NEGRO 3/16"
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO

Cuadro No.183 Cantidades de materiales requeridas propuesta No.4

Corporativo	Descripción	Cantidad	UM
999	LAMINA HIERRO NEGRO 3/16"	29.63	pie2
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO	15	LB

Cuadro No.184 Costo materiales propuesta No.4

Corporativo	Descripción	UM	Cantidad (nueve bandejas)	Presentación Mínima	Costo
999	LÁMINA HIERRO NEGRO 3/16"	pie2	29.63	32 (8 X 4)	Q612.48
5186	ELECTRODO E7018 GENÉRICO	LB	15	5	Q78.90
Costo Total					Q691.38

Cuadro No.185 Rango salarial según clasificación de personal

CLASIFICACIÓN SALARIAL/DÍA PERSONAL INGENIO			
Descripción	Clasificación6583	Salario/hora (S/Prestaciones)	Salario/hora (C/Prestaciones)
MECÁNICO	Mecánico de primera	Q16.65	Q24.98
	Mecánico de segunda	Q13.87	Q20.80
TORNERO	Tornero de primera	Q13.87	Q20.80
	Tornero de segunda	Q13.12	Q19.67
AYUDANTE	Ayudante	Q11.33	Q17.00
SOLDADOR	Soldador de primera	Q14.35	Q21.52
	Soldador de segunda	Q12.90	Q19.35
	Soldador especializado	Q16.65	Q24.98

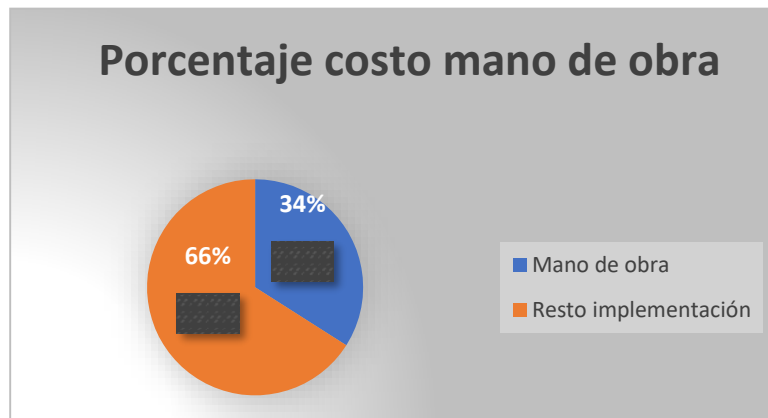
Cuadro No.186 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.1

Mano de obra	Cantidad	Tiempo requerido/tramo	Tramos	Tiempo total requerido
Ayudante	1	2 horas	8	16 horas
Soldador Especializado	1	2 horas	8	16 horas

Cuadro No.187 Detalle costo de mano de obra propuesta No.1

Mano de Obra	Tiempo/Tramo	Tramos	Tiempo Total	Costo/hora	Costo total S/Prestaciones	Costo total C/Prestaciones
Ayudante	2 horas	8	16 horas	Q11.33	Q181.32	Q271.98
Soldador Especializado	2 horas	8	16 horas	Q16.65	Q266.44	Q399.66
Costo total implementación					Q671.64	

Figura No.164 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.1



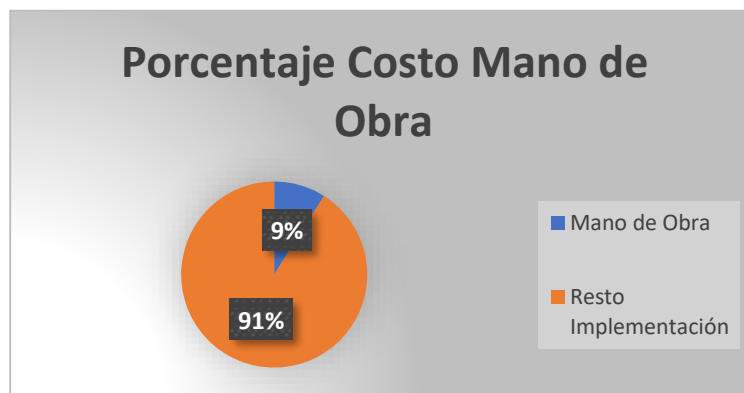
Cuadro No.188 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.2

Mano de Obra	Cantidad	Tiempo requerido
Soldador Especializado	1	12 días

Cuadro No.189 Costo de mano de obra propuesta No.2

Mano de Obra	Tiempo Requerido	Costo/día	Costo Total S/Prestaciones	Costo Total C/Prestaciones
Soldador Especializado	12 días	Q133.22	Q1,598.64	Q2,398

Figura No.165 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.2



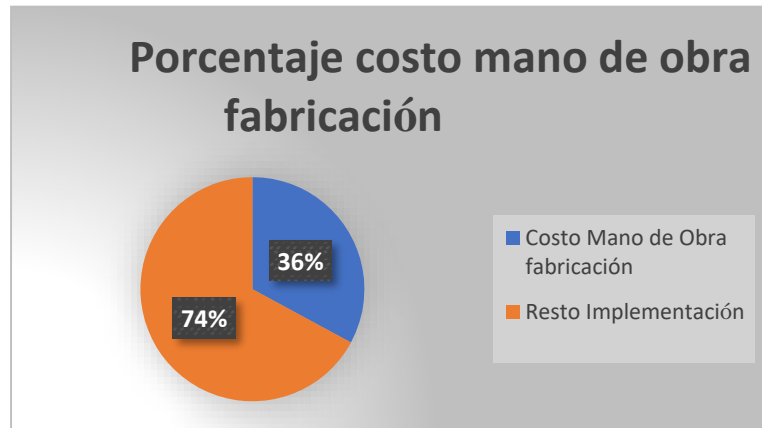
Cuadro No.190 Detalle de mano de obra requerida para fabricación propuesta No.3

Mano de Obra	Cantidad	Tiempo/Bushing	Bushings	Tiempo Total
Tornero de primera (Encargado de Bushings)	1	13 horas	3	39 horas

Cuadro No.191 Costo de mano de obra para fabricación propuesta No.3

Mano de obra	Tiempo requerido/Bushing	Bushings	Tiempo Total	Costo/hora	Costo total s/prestaciones	Costo total c/prestaciones
Tornero de primera	13 horas	3	39 horas	Q13.87	Q540.93	Q811.39

Figura No.166 Porcentaje de representación de costos de mano de obra para fabricación propuesta 3



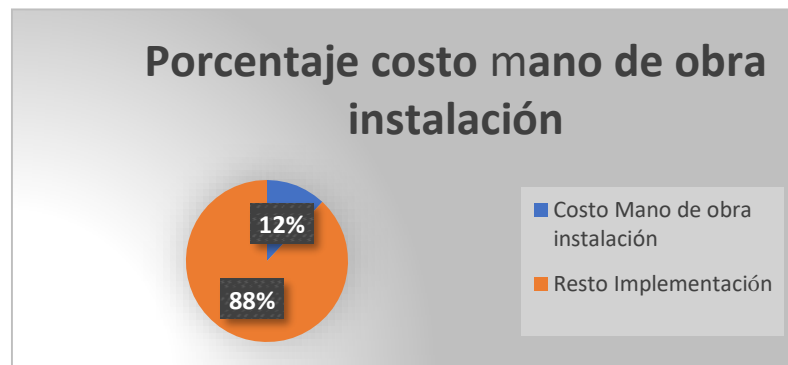
Cuadro No.192 Detalle de mano de obra requerida para implementación propuesta No.3

Mano de Obra	Cantidad	Tiempo/Bomba	Bombas	Tiempo Total
Mecánico de Primera	1	2 horas	3	6 horas
Ayudante	1	2 horas	3	6 horas

Cuadro No.193 Costo de mano de obra para implementación propuesta No.3

Mano de obra	Tiempo/Bomba	Bombas	Tiempo total	costo/hora	Coto total s/prestaciones	Coto total c/prestaciones
MECÁNICO DE PRIMERA	2 horas	3	6 horas	Q16.65	Q99.92	Q149.88
AYUDANTE	2 horas	3	6 horas	Q11.33	Q68.00	Q102.00
Costo Total Mano de Obra instalación camisas						Q251.88

Figura No.167 Porcentaje de representación de costo mano de obra para implementación propuesta No.3



Cuadro No.194 Costo total mano de obra propuesta No.3

Mano de obra	Costo
Costo Mano de obra fabricación	Q811.20
Costo Mano de obra instalación	Q251.865
Total Costo Mano de Obra	Q1,063.02

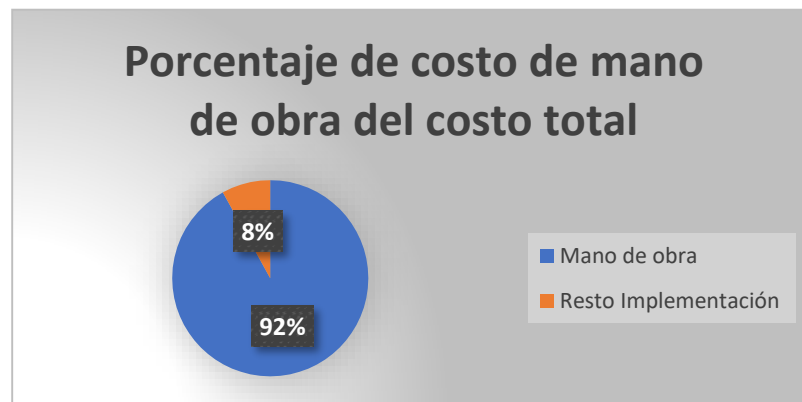
Cuadro No.195 Detalle de mano de obra requerida propuesta No.4

Mano de Obra	Cantidad	Tiempo/bomba	Bombas	Tiempo Total
Ayudante	1	3 BOMBAS/DIA	9	3 días
Soldador de Segunda	1	3 BOMBAS/DIA	9	3 días

Cuadro No.196 Costo de mano de obra propuesta No.4

Mano de Obra	Tiempo/Bomba	Bombas	Tiempo Total	Costo /día	Costo Total S/Prestaciones	Costo Total C/Prestaciones
Ayudante	3 BOMBAS/DIA	9	3 días	Q11.33	Q271.98	Q407.97
Soldador de Segunda	3 BOMBAS/DIA	9	3 días	Q12.90	Q309.66	Q464.49
Costo total Mano de Obra implementación 9 bombas						Q872.46

Figura No.168 Porcentaje de representación de costos de mano de obra propuesta No.4



Cuadro No.197 Costo total Propuesta No.1

Descripción	Monto
Mano de obra (ventanilla 8 tramos)	Q671.64
Materiales (ventanilla 8 tramos)	Q1,303.31
Costo Total Propuesta 1	Q1,974.95

Cuadro No.198 Costo total Propuesta No.2

Descripción	Monto
Mano de obra (Conductores Caña Canal C)	Q2,398.08
Materiales (Conductores Caña Canal C)	Q24,499.82
Costo Total Propuesta 2	Q26,897.90

Cuadro No.199 Costo total Propuesta No.3

Descripción	Monto
Mano de obra (para las 3 bombas)	Q1,063.02
Materiales (para las 3 bombas)	Q1,174.41
Costo Total Propuesta 3	Q2,237.43

Cuadro No.200 Costo total Propuesta No.4

Descripción	Monto
Mano de obra (Implementar las 9 bombas)	Q872.46
Materiales (Hierro Negro)	Q78.90
Costo total Propuesta 4	Q951.36

Cuadro No.201 FODA implementaciones de propuestas

FORTALEZAS

- Las propuestas harán al ingenio tener una mayor eficiencia en su producción.
- Se disminuirán las pérdidas de azúcar en la zafra 2018-2019 por medio de estas implementaciones.
- Implementaciones relativamente de bajo costo.
- Implementaciones que No implican mucho recurso logístico.
- Propuestas con un tiempo de implementación relativamente bajo.

DEBILIDADES

- Las propuestas No garantizan al 100% la eliminación de la pérdida de azúcar detectada.
- Los costos de las propuestas pueden estar sujetos a cambios por inconvenientes repentinos durante la implementación.
- Además del costo monetario de la mano de obra, hay un costo de oportunidad ya que dejan de hacer sus actividades durante cierto tiempo para implementar las propuestas.
- Se debe tomar en cuenta la supervisión y mantenimiento respectivo a las propuestas a implementar durante el transcurso de la zafra.

OPORTUNIDADES

- El ingenio cuenta con muchas pérdidas más donde se pueden proponer otras implementaciones.
- Oportunidad en innovar los bosquejos propuestos.
- Los costos se pueden obtener internamente con facilidad.
- Proceso de costeo estandarizado para mejorar el flujo del proceso para futuras propuestas.
- Información al alcance de conseguir para realizar futuras propuestas.
- Ingenieros a cargo en el ingenio abiertos a proporcionar información.

AMENAZAS

- El costo de las propuestas puede llegar a ser mayor que el beneficio económico que trae por eliminar la pérdida de azúcar.
- Las propuestas pueden tener un mal desempeño durante la zafra y cumplir con su objetivo.

Cuadro No.202 FODA estratégico

ESTRATEGIAS (F-O)

- Aprovechar que las propuestas No incurren en muchos recursos logísticos para innovarlas constantemente.
- Al obtener una mayor eficiencia en su producción el ingenio podrá concentrarse en otras propuestas de mejoras.

ESTRATEGIAS (D-A)

- Cumplir con el paso de obtención de “feedback” de la solución para garantizar al 100% que la propuesta funcione.
- Asegurarse de identificar todos los materiales y mano de obra necesaria para asegurarse que los costos No cambien por recursos No identificados inicialmente.

ESTRATEGIAS (D-O)

- Aprovechar la información fácil de conseguir para obtener el costo total de la implementación Sin riesgo a cambio.
- En caso de algún cambio de costo repentino, aprovechar que los costos se pueden obtener fácilmente internamente en ingenio.

ESTRATEGIAS (F-A)

- Al No tener un tiempo considerable de implementación, mejorar las propuestas constantemente para garantizar el 100% de la eliminación de la pérdida de azúcar.
- Proponer mantenimientos con mismos materiales de las propuestas ya que No son costosos.
- Utilizar la pérdida de azúcar recuperada como fundamento suficiente para justificar el costo de oportunidad de la mano de obra.

Figura No.169 Muestra de camisa



Figura No.170 Toma de medidas camisa



Figura No.171 Muestra bandeja capturados



Figura No.172 Bombas refinería



Figura No.173 Equipo Cush Cush



Figura No.174 Toma de mediciones Cush Cush



Figura No.175 Conductores de Caña

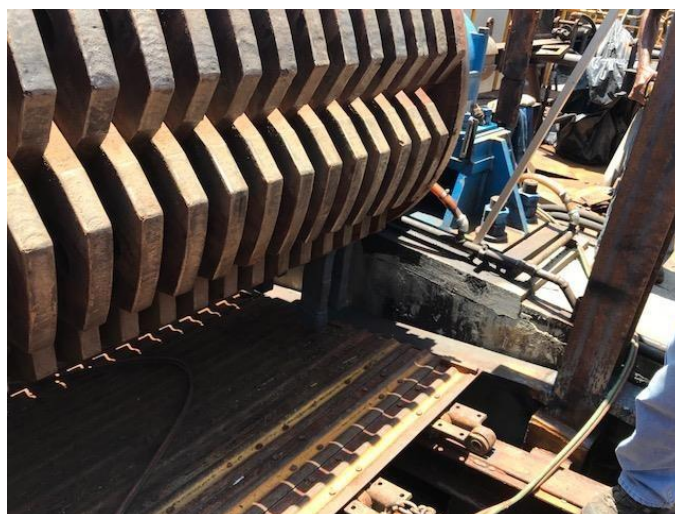
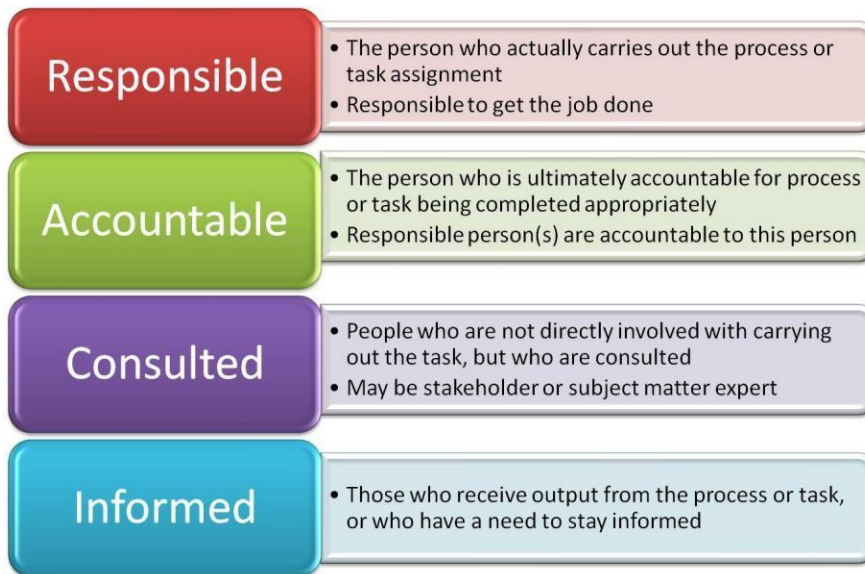


Figura No.176 Códigos de roles de matriz de responsabilidades



Fuente: ITSM, 2014

Figura No.177 Formato minuta reuniones de equipo de trabajo

Megaproyecto 1
Sección: 20



MINUTA REUNIÓN

Código de reunión: MR.25-08-17

Reunión: sexta reunión megaproyecto

Fecha: 25 de agosto de 2017

Lugar: UVG

Hora de inicio: 3:30 PM

Hora de finalización: : PM

Participantes:

Nombre	Asistencia (Si/No)	Carrera	Carné
Juan Daniel Bran	Si	Ing. Industrial	15132
Gabriela Gálvez	Si	Ing. Química	14073
Sebastián Vásquez	Si	Ing. En administración	15182
Emilio Rivera	Si	Ing. Química	14164
Emilio Say	Si	Ing. Química	14080
Diego Grajeda	Si	Ing. Química	14066
Emilio Velásquez	No	Ing. Química	14110
Cristian Rossi	Si	Ing. Química	----

Objetivo: Darle seguimiento a los puntos tratados con Ing. Marco Tulio

Continuación Figura No.177 Formato minuta reuniones de equipo de trabajo

Megaproyecto 1
Sección: 20



Puntos discutidos

1. Seleccionar cuáles de los objetivos planteados son los más importantes para el ingenio, y recibir retroalimentación por parte del directivo.
2. Ver la accesibilidad a los recursos, entiéndase información que se necesita y materiales.
3. Documentar todo lo que se haga durante las visitas (nombres, contactos e información)
4. Organigrama de los encargados en áreas a estudiar. Ver relación con control de calidad.
5. Para los equipos revisar el mantenimiento que se le da actualmente. Especialmente en filtros para cachaza
6. Históricos de producción

Nuevos Temas de investigación

- a) Terminar el recorrido y revisar conceptos presentes en el drive.
- Pérdidas en miel final
 - Pérdidas en lavado de azúcar
 - Pérdidas en caña
 - Filtros de banda para cachaza
 - Pérdidas en cachaza o lodos
- (Sebas y Bran)

Figura No.178 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 1)

Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos	regor
	↳ Megaproyecto Pérdidas de Azúcar	140 días?	jue 1/03/18	vie 19/10/18			
	↳ Ingeniería Química	137.6 días?	lun 5/03/18	vie 19/10/18			
	↳ Determinación de pérdidas de azúcar por arrastre en el Tándem B de molinos y análisis de posibles soluciones	116 días?	mar 13/03/18	lun 24/09/18		Gabriela Galvez	
	Toma de medidas	8.8 días?	mar 13/03/18	lun 26/03/18			
	Organizar mediciones obtenidas y elaboración de mapa que indique puntos de toma de muestras y mapa de pérdidas significativas	4.8 días?	lun 9/07/18	lun 16/07/18			
	Realizar cálculos tomando en cuenta los datos de molienda obtenidos por el ingenio y analizar las pérdidas obtenidas en Parshall de Patio.	4.8 días?	lun 16/07/18	lun 23/07/18			
	Determinar el porcentaje que corresponde en Tándem B de molinos del Parshall de Patio.	4.8 días?	lun 23/07/18	lun 30/07/18			
	Investigar sobre las bombas utilizadas en el ingenio y su respectivo mantenimiento.	4.8 días?	lun 23/07/18	lun 30/07/18			
	Complementar Marco Teórico según lo que se quiere discutir. Revisión de plan de mantenimiento de bombas y discutir hallazgos	4.8 días?	lun 30/07/18	sáb 4/08/18			
	Enviar información de resultados de pérdidas de azúcar a demás intergrantes y elaborar un plan tentativo de mantenimiento para las bombas	8.8 días?	lun 6/08/18	lun 20/08/18			
	Elaboración de discusión de resultados y conclusiones	4.8 días?	lun 20/08/18	lun 27/08/18			
	Elaboración de recomendaciones	4.8 días?	mar 28/08/18	lun 3/09/18			
	Revisión de modulo con asesor	4.8 días?	lun 3/09/18	lun 10/09/18			
	Revisión de modulo final con asesor y realizar correcciones	4.8 días?	mar 11/09/18	lun 17/09/18			
	Elaboracion de carta solicitando examen de graduación. Imprimir trabajo de módulo final.	4.8 días?	lun 17/09/18	lun 24/09/18			

Continuación Figura No.178 Diagrama de Gantt del proyecto

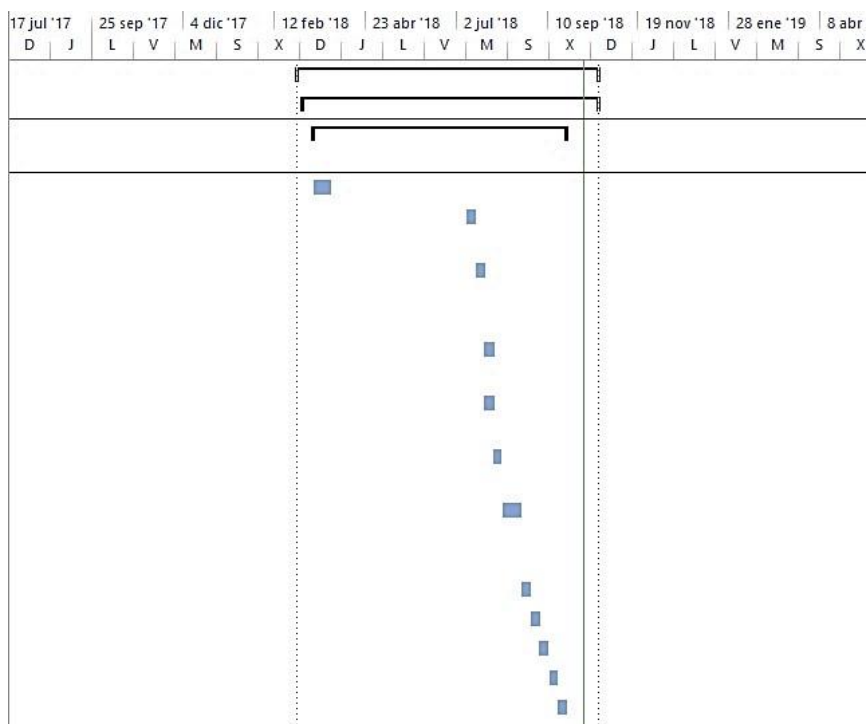


Figura No.179 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 2)

Elaboración de carta solicitando examen de graduación. Imprimir trabajo de módulo final.	4.8 días?	Jun 17/09/18	Jun 24/09/18	
Hito - Cierre de determinación de pérdidas por arrastre en el Tándem B	0 días	Jun 24/09/18	Jun 24/09/18	
Validación de los métodos para determinar la concentración de sacarosa por medio de curvas de calibración, desviación media absoluta con el objetivo de establecer de los metodos usados.	136.8 días?	mar 6/03/18	vie 19/10/18	Diego Grajeda
Obtención de resultados polarimetría y HPLC	3.2 días?	mar 6/03/18	vie 9/03/18	
Obtención de resultados Canal Parshall	2.4 días?	mié 7/03/18	vie 9/03/18	
Obtención de resultados Sonda Electrónica	4 días?	Jun 19/03/18	vie 23/03/18	
Análisis de resultados de cada validación	9.6 días?	mié 2/05/18	jue 17/05/18	
Elaboración del Marco Teórico	4.8 días?	vie 27/07/18	vie 3/08/18	
Elaboración de diagrama de canales de Parshall	4.8 días?	sáb 4/08/18	vie 10/08/18	
Análisis estadístico de resultados - HPLC y POL	4.8 días?	vie 10/08/18	vie 17/08/18	
Análisis estadístico de resultados - Caudales	4.8 días?	vie 17/08/18	vie 24/08/18	
HITO - Presentación de Resultados Finales	0 días	vie 24/08/18	vie 24/08/18	
Elaboración de protocolos de muestreo - 3 métodos	12.8 días?	Jun 10/09/18	vie 28/09/18	

Continuación Figura No.179 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 2)

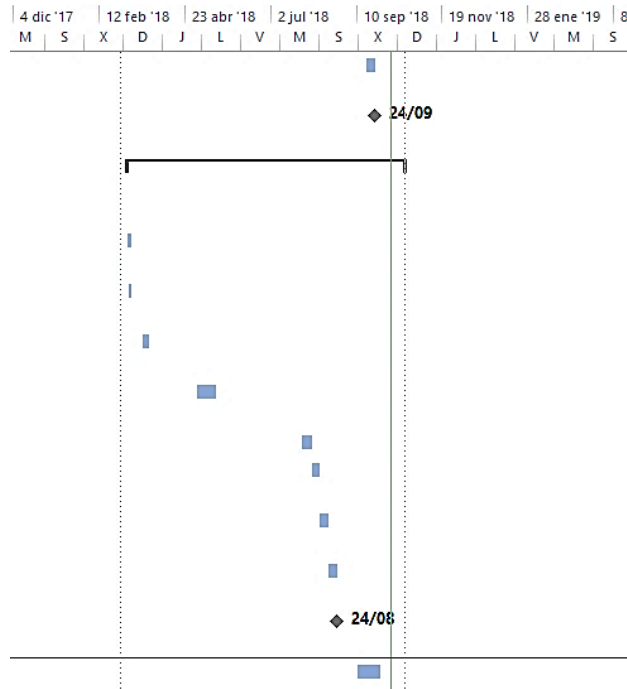


Figura No.180 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 3)

	Elaboración de protocolos de muestreo - 3 métodos	12.8 días?	lun 10/09/18	vie 28/09/18		
	Elaboración de metodologías de análisis - 3 métodos	4.8 días?	vie 28/09/18	vie 5/10/18		
	Elaboración de manual de validación y programa de validación - 3 métodos	8.8 días?	lun 8/10/18	vie 19/10/18		
	Realizar informe final	52.8 días?	jue 26/07/18	vie 19/10/18		
	HITO - Entrega final del módulo	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18		
	HITO - Cierre de validación de métodos para determinar la sacarosa	0 días	jue 18/10/18	jue 18/10/18		
	▲ Determinación y cuantificación de las pérdidas de azúcar presentes en el tándem A de molinos y conductores en el patio de caña, utilizando el método de polarimetría y medición de caudales	137.6 días?	lun 5/03/18	vie 19/10/18	Emilio Say	
	Determinación de principales puntos de control para Tándem A y Conductores	4.8 días?	lun 5/03/18	sáb 10/03/18		
	Entrenamiento de pruebas de polarimetría	5.6 días?	mar 13/03/18	mié 21/03/18		
	Obtención de resultados de concentraciones y caudales en canal Parshall de Patio	9.6 días?	vie 23/03/18	jue 5/04/18		
	Obtención de resultados de concentraciones y caudales en el Tándem A de molinos	9.6 días?	vie 23/03/18	jue 5/04/18		
	Obtención de resultados de transportadores de caña	9.6 días?	vie 23/03/18	jue 5/04/18		

Continuación Figura No.180 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 3)

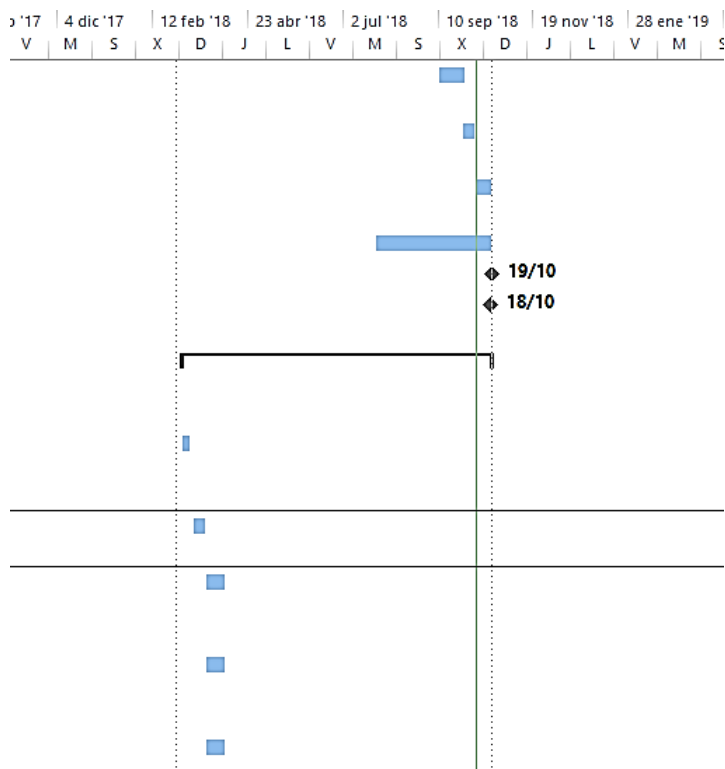


Figura No.181 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 4)

	Obtención de resultados de transportadores de caña	9.6 días?	vie 23/03/18	jue 5/04/18		
	Realizar diagramas de equipos a estudiar	4.8 días?	lun 23/07/18	lun 30/07/18		
	HITO - Entrega de análisis de datos Tándem B	0 días	lun 30/07/18	lun 30/07/18		
	Realizar análisis de datos de Tándem B	4.8 días?	lun 6/08/18	lun 13/08/18		
	Realizar correcciones de análisis de datos de Tándem B con el asesor	4.8 días?	lun 13/08/18	lun 20/08/18		
	Elaboración de informe de conductores de caña en relación a los resultados	4.8 días?	mar 28/08/18	lun 3/09/18		
	Generar propuesta sobre mejoras en conductores	3.2 días?	lun 27/08/18	jue 30/08/18		
	HITO - Entrega de informe de con las propuestas analizadas	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18		
	Hito- Cierre de determinación de cuantificación de las pérdidas de azúcar presentes en el tándem A de molinos y conductores en patio de caña	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18		
	Proponer mejoras al proceso de toma de muestras en jaulas de caña de corte mecanizado por medio de determinación de variables críticas.	132.8 días?	lun 12/03/18	vie 19/10/18		Emilio Rivera
	Muestreo de jaulas de caña de corte mecanizado	4.8 días?	lun 12/03/18	lun 19/03/18		

Continuación Figura No.181 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 4)

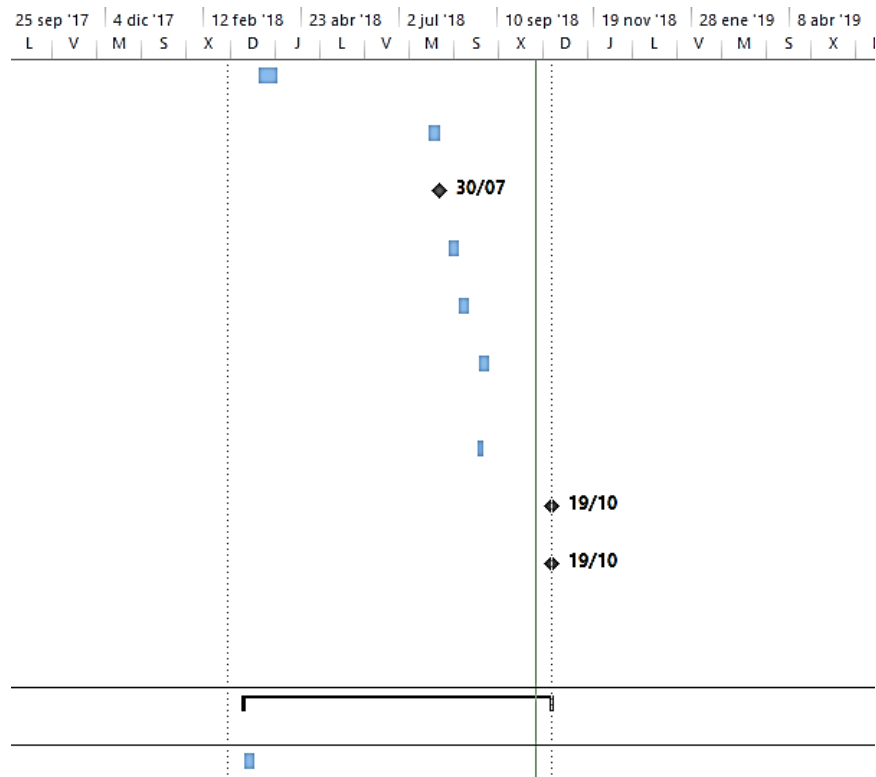


Figura No.182 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 5)

☰	Muestreo de jaulas de caña de corte mecanizado	4.8 días?	lun 12/03/18	lun 19/03/18		
☰	Identificación de pérdidas en desfibradora	5.6 días?	mar 20/03/18	mar 27/03/18		
☰	Nueva metodología para caracterizar desfibradora	5.6 días?	mar 27/03/18	mar 3/04/18		
☰	Obtención de resultados para índice de preparación	4.8 días?	jue 29/03/18	mié 4/04/18		
☰	Toma de tiempos y metodologías en laboratorio	9.6 días?	mar 27/03/18	mar 10/04/18		
☰	Análisis estadísticos de resultados	17.6 días?	mié 11/07/18	mié 8/08/18		
☰	Elaboración Informe final	32.8 días?	vie 17/08/18	mié 10/10/18		
☰	Hito - Cierre de Mejoras al proceso de toma de muestras en jaulas de corte de mecanizado	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18		
☰	Identificación de puntos críticos de pérdidas de azúcar dentro de la fábrica de un ingenio azucarero realizando mediciones de concentración y caudal.	131.2 días?	mié 14/03/18	vie 19/10/18		Emilio Velasquez
☰	Toma de mediciones	12 días?	mié 14/03/18	dom 1/04/18		
☰	Revisión Bibliográfica	4.8 días?	lun 16/07/18	lun 23/07/18		
☰	Realizar resumen de funcionamiento de fábrica de Ingenio	1.6 días?	vie 27/07/18	lun 30/07/18		
☰	Realizar resumen de diferencia entre pérdidas determinadas e indeterminadas, puntos clave a evaluar	8.8 días?	mar 31/07/18	lun 13/08/18		

Continuación Figura No.182 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 5)

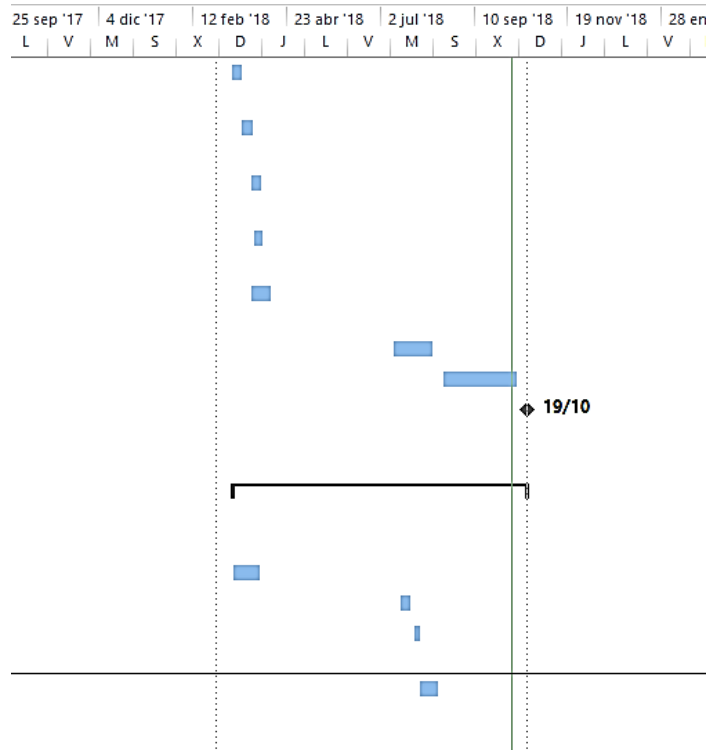


Figura No.183 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 6)

☒	Realizar resumen de diferencia entre pérdidas determinadas e indeterminadas, puntos clave a evaluar	8.8 días?	mar 31/07/18	lun 13/08/18		
☒	HITO - Entrega de resultados de pérdidas indeterminadas y mapa de efluentes a asesor	0 días	lun 13/08/18	lun 13/08/18		
☒	Alinear recomendaciones a realizar para las pérdidas mas importantes elegidas	4.8 días?	lun 13/08/18	lun 20/08/18		
☒	Realizar recomendaciones para pérdidas mas importantes	4.8 días?	mar 11/09/18	lun 17/09/18		
☒	Entrega de recomendaciones con mapa de efluentes.	0 días	lun 17/09/18	lun 17/09/18		
☒	Alinear correcciones a recomendaciones con asesor para tener las finales	4.8 días?	lun 24/09/18	lun 1/10/18		
☒	Realizar ccorrecciones a recomendaciones.	4.8 días?	lun 1/10/18	lun 8/10/18		
☒	HITO - Entrega con propuesta final para primera revisión	0 días	lun 8/10/18	lun 8/10/18		
☒	Realizar Correcciones propuesta final primera revision	2.4 días?	sáb 13/10/18	mar 16/10/18		
☒	HITO - Cierre de determinación de pérdidas de azúcar en la fabrica de un ingenio azucarero	0.8 días?	vie 19/10/18	vie 19/10/18		

Continuación Figura No.183 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 6)

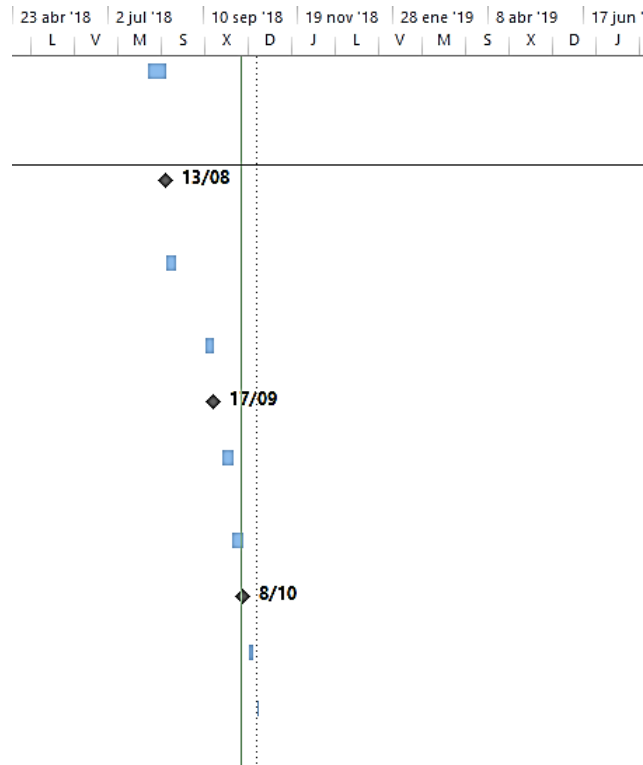


Figura No.184 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 7)

<ul style="list-style-type: none"> ▾ Ingeniería en Ciencias de la Administración ▸ Realizar un análisis de rentabilidad y de viabilidad que permita determinar cuál es la mejor solución que se brindará al ingenio considerando las propuestas generadas Reunión con asesor para discutir la forma en que se abordará el proyecto Revisión bibliográfica - análisis de rentabilidad y viabilidad Revisión bibliográfica - análisis de rentabilidad y viabilidad Realización de las entrevistas de campo previstas dentro del ingenio Recopilación de las respuestas obtenidas en la investigación de campo Presentación de los resultados preliminares al asesor e ingenieros Feedback y corrección de los resultados 2da entrega de resultados a asesor 2do Feedback del asesor Entrega Final Informe HITO - Cierre de análisis de rentabilidad y de viabilidad 	58.4 días?	lun 16/07/18	vie 19/10/18			
	58.4 días?	lun 16/07/18	vie 19/10/18			Sebastian Vasquez
	4 días?	lun 16/07/18	vie 20/07/18			
	8 días?	lun 23/07/18	vie 3/08/18			
	4.8 días?	sáb 4/08/18	vie 10/08/18			
	8 días?	lun 13/08/18	vie 24/08/18	74		
	4.8 días?	lun 27/08/18	sáb 1/09/18			
	8.8 días?	lun 3/09/18	sáb 15/09/18	76		
	4 días?	lun 17/09/18	vie 21/09/18	77		
	1 día?	jue 4/10/18	vie 5/10/18			
	3.2 días?	mié 10/10/18	sáb 13/10/18	79		
	1 día?	lun 15/10/18	mar 16/10/18	80		
	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18			
<ul style="list-style-type: none"> ▾ Ingeniería Industrial ▸ Realizar un Diagrama de Distribucion de las prouestas 	140 días?	jue 1/03/18	vie 19/10/18			
	24.8 días?	mié 15/08/18	lun 24/09/18			Daniel Bran

Continuación Figura No.184 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 7)

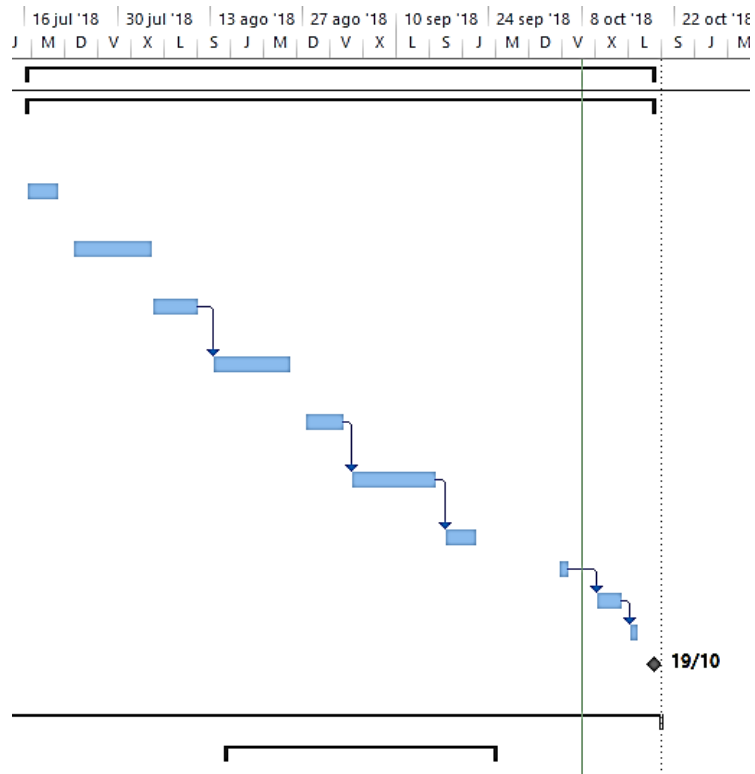


Figura No.185 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 8)

4 Ingeniería Industrial	140 días?	jue 1/03/18	vie 19/10/18	
4 Realizar un Diagrama de Distribucion de las prouestas	24.8 días?	mié 15/08/18	lun 24/09/18	Daniel Bran
Realizar un diagrama de Ishikawa	3.2 días?	mié 15/08/18	lun 20/08/18	
Realizar una lluvia de ideas	4 días?	lun 20/08/18	vie 24/08/18	
Toma de medidas del espacio a implementar	1 día?	vie 7/09/18	lun 10/09/18	86
Realizar de Sketch	9.6 días?	lun 10/09/18	lun 24/09/18	
HITO - Cierre de Diagrama de Distribución	0 días	lun 24/09/18	lun 24/09/18	
4 Obtener el costo de materiales para las propuestas	25.6 días?	mié 15/08/18	mar 25/09/18	
Investigación de las condiciones de lugares a implementar	9.6 días?	mié 15/08/18	jue 30/08/18	
Obtener cantidades de materiales requeridas para implementación	10.4 días?	lun 10/09/18	mar 25/09/18	
Obtener costos de materiales	10.4 días?	lun 10/09/18	mar 25/09/18	
HITO - Cierre de obtencion de costos de materiales	0 días	mar 25/09/18	mar 25/09/18	
4 Obtener costos de mano de obra de propuestas	11.2 días?	lun 10/09/18	mié 26/09/18	
Establecer mano de obra requerida	5.6 días?	lun 10/09/18	lun 17/09/18	
Investigar rango salarial	5.6 días?	lun 10/09/18	lun 17/09/18	
Obtener tiempos de implementacion	10.4 días?	lun 10/09/18	mar 25/09/18	

Continuación Figura No.185 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 8)

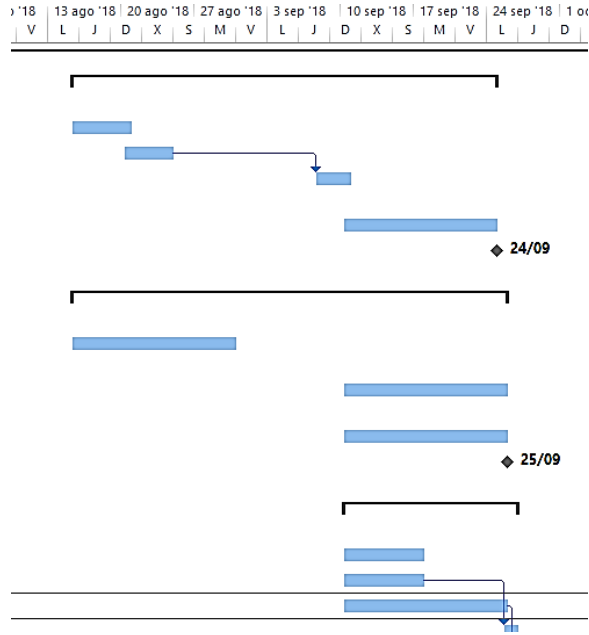


Figura No.186 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 9)

🔍	Obtener tiempos de implementación	10.4 días?	lun 10/09/18	mar 25/09/18	
🔍	Obtener costo de mano de obra	1 día?	mar 25/09/18	mié 26/09/18	97
🔍	HITO - Cierre de obtencion de costos de mano de obra	0 días	mié 26/09/18	mié 26/09/18	98
🔍	▸ Estandarización de proceso de costeo para implementaciones similares	3.2 días?	mié 26/09/18	lun 1/10/18	
🔍	Realización de EDT de proceso de costeo	3.2 días?	mié 26/09/18	lun 1/10/18	
🔍	Realización de Manual/Guia de proceso con ejemplo	3.2 días?	mié 26/09/18	lun 1/10/18	
🔍	Realización de DOP	1 día?	jue 27/09/18	vie 28/09/18	
🔍	HITO- Cierre Estandarización proceso de Costeo	0 días	lun 1/10/18	lun 1/10/18	
🔍	▸ Gestión de Proyecto	140 días?	jue 1/03/18	vie 19/10/18	
🔍	▸ Inicio del Proyecto	1.6 días?	jue 1/03/18	vie 2/03/18	
🔍	Acta de Constitucion	1.6 días?	jue 1/03/18	vie 2/03/18	
🔍	Identificación de interesados	1 día?	jue 1/03/18	vie 2/03/18	
🔍	▸ Planeación del proyecto	128 días?	jue 1/03/18	lun 1/10/18	
🔍	Matriz de riesgos	4.8 días?	mié 4/04/18	mié 11/04/18	
🔍	Matriz de Responsabilidades	25.6 días?	mar 6/03/18	vie 13/04/18	
🔍	Diagrama de Gantt	5.6 días?	jue 5/07/18	vie 13/07/18	
🔍	EDT	1 día?	jue 8/03/18	vie 9/03/18	
🔍	Ejecucion del proyecto	128 días?	jue 1/03/18	lun 1/10/18	
🔍	▸ Fin del proyecto	0 días	vie 19/10/18	vie 19/10/18	

Continuación Figura No.186 Diagrama de Gantt del proyecto (Parte 9)

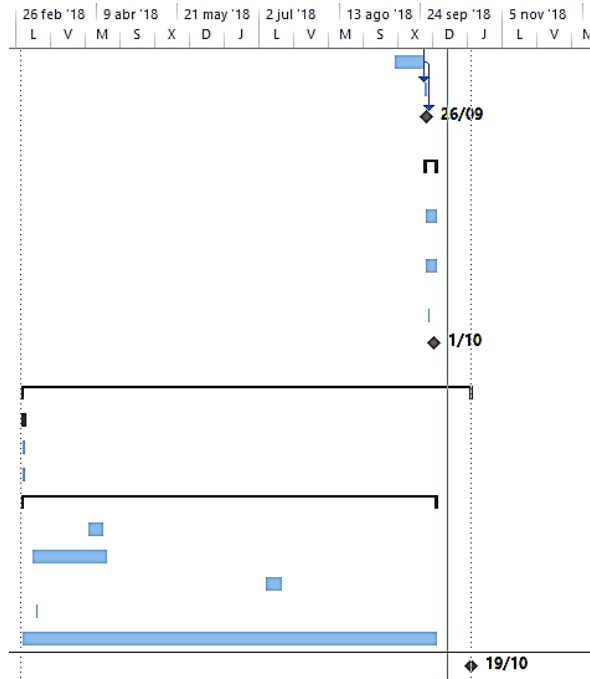


Figura No.187 Plantilla propuesta para cálculo de implementaciones Símilares a las analizadas en el trabajo (parte 1)

PLANTILLA DE PRESUPUESTO EJECUTIVO DE FUTURAS IMPLEMENTACIONES (NO APLICA INVERSIONES)	
DATOS GENERALES	
Fecha actual	
Nombre de Implementacion	
Área involucrada	
Encargado de Implementación	
Fecha proyectada	
DISEÑO	
Vista No. 1	Vista No. 2

LOGO INGENIO

Cuadro No.203 Costo-Beneficio de propuestas

Propuesta	Descripción	Costo	Beneficio
No. 1	Implementación de ocho ventanillas móviles en equipo Cush Cush	Q1,974.95	Q1,013,881.08
No. 2	Implementación de matajuntas en los conductores de área de patios	Q26,897.90	Q8,467,983.60
No. 3	Cambio de camisa de Bombas B32,B33 y B34	Q2,237.43	Q5,930.14
No. 4	Implementación de nueve bandejas capturadoras en bombas de refinería	Q1563.84	Q62,843.15
Total		Q32,674.12	Q9,550,637.97

7. Análisis de rentabilidad y viabilidad según las propuestas realizadas al ingenio.

Cálculos realizados

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, Conductor de caña Tándem A.

Cuadro No.204 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, conductor de caña Tándem A

Fecha	Conductor de caña canal C (kg/t de caña)
24-Feb	0.87
3-Mar	0.85
10-Mar	0.38
7-Apr	0.40
Pérdida Total	2.50

Fecha	Conductor de caña canal C (lb/t de caña)
24-Feb	1.76
3-Mar	1.72
10-Mar	0.76
7-Apr	0.81
Pérdida total	5.05

Cuadro No.205 precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la zafra 2017-2018

Precio USD /lb (NYSE)
\$ 0.14

Cuadro No.206 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.

Promedio del tipo de cambio USD - GTQ durante la zafra 17-18	
GTQ	7.36

Cuadro No.207 Toneladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018 en el Tándem A

Teladas molidas por el ingenio Tándem A
1,674,127.17

- Pérdida expresada en USD/t

$$5.05 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.69 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$0.69 \frac{USD}{t} * 1,674,127.17 t = USD 1,150,230.68$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 1,150,230.68 * GTQ 7.36 = GTQ 8,467,983.60$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.208 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem A (UVG)

Fecha	Pérdida conductor de caña canal C (kg/t)
24-Feb	0.87
3-Mar	0.85
10-Mar	0.38
7-Apr	0.40
Total	2.50

Cuadro No.209 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem A (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
24-Feb	2.67
3-Mar	2.29
10-Mar	0.56
7-Apr	4.76
Total	10.28

- Cálculo del porcentaje 24-Feb

$$\frac{0.87 \frac{kg}{t}}{2.67 \frac{kg}{t}} * 100\% = 32.55\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Mar

$$\frac{0.85 \frac{kg}{t}}{2.29 \frac{kg}{t}} * 100\% = 37.02\%$$

- Cálculo del porcentaje 10-Mar

$$\frac{0.38 \frac{kg}{t}}{0.56 \frac{kg}{t}} * 100\% = 66.98\%$$

- Cálculo del porcentaje 7-Apr

$$\frac{0.40 \frac{kg}{t}}{4.76 \frac{kg}{t}} * 100\% = 8.44\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{2.50 \frac{kg}{t}}{10.28 \frac{kg}{t}} * 100\% = 24.28\%$$

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, bombas Tándem A

Cuadro No.210 pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, bombas Tándem A

Fecha	Bomba 32 (kg/t de caña)
24-Feb	4.40E-04
17-Mar	4.68E-04
Pérdida total	9.08E-04

Fecha	Bomba 32 (lb/t de caña)
24-Feb	8.91E-04
17-Mar	9.47E-04
Pérdida total	1.84E-03

- Pérdida expresada en USD/t

$$1.84E - 03 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 2.50E - 04 \frac{USD}{t}$$

Fecha	Bomba 33 (kg/t de caña)
24-Feb	5.59E-04
17-Mar	7.24E-04
Pérdida total	1.28E-03

Fecha	Bomba 33 (lb/t de caña)
24-Feb	1.13E-03
17-Mar	1.46E-03
Pérdida total	2.60E-03

- Pérdida expresada en USD/t

$$2.60E - 03 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 3.53E - 04 \frac{USD}{t}$$

Fecha	Bomba 34 (kg/t de caña)
24-Feb	1.62E-03
17-Mar	1.43E-03
Pérdida Total	3.05E-03

Fecha	Bomba 34 (lb/t de caña)
24-Feb	3.28E-03
17-Mar	2.90E-03
Pérdida total	6.18E-03

- Pérdida expresada en USD/t

$$6.18E - 03 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 8.40E - 04 \frac{USD}{t}$$

- Suma pérdidas expresadas en USD/t

$$2.50E - 04 + 3.53E - 04 + 8.40E - 04 = 0.0014 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$0.0014 \frac{USD}{t} * 1,674,127.17 t = USD 2,416.52$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 2,416.52 * GTQ 7.36 = GTQ 17,790.41$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.211 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)

Fecha	Pérdida B32 (kg/t)
24-Feb	4.40E-04
17-Mar	4.68E-04
Totales	9.08E-04

Cuadro No.212 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
24-Feb	2.67
17-Mar	1.44
Totales	4.11

- Cálculo del porcentaje 24-Feb

$$\frac{4.40E - 04 \frac{kg}{t}}{2.67 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.02\%$$

- Cálculo del porcentaje 17-Mar

$$\frac{4.68E - 04 \frac{kg}{t}}{1.44 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.03\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{9.08E - 04 \frac{kg}{t}}{4.11 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.02\%$$

Cuadro No.213 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)

Fecha	Pérdida B33 (kg/t)
24-Feb	5.59E-04
17-Mar	7.24E-04
Totales	1.28E-03

Cuadro No.214 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
24-Feb	2.67
17-Mar	1.44
Totales	4.11

- Cálculo del porcentaje 24-Feb

$$\frac{5.59E - 04 \frac{kg}{t}}{2.67 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.02\%$$

- Cálculo del porcentaje 17-Mar

$$\frac{7.24E - 04 \frac{kg}{t}}{1.44 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.05\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{1.28E - 03 \frac{kg}{t}}{4.11 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.03\%$$

Cuadro No.215 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (UVG)

Fecha	Pérdida B34 (kg/t)
24-Feb	1.62E-03
17-Mar	1.43E-03
Totales	3.05E-03

Cuadro No.216 Pérdidas de azúcar bombas Tándem A (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
24-Feb	2.67
17-Mar	1.44
Totales	4.11

- Cálculo del porcentaje 24-Feb

$$\frac{1.62E - 03 \frac{kg}{t}}{2.67 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.06\%$$

- Cálculo del porcentaje 17-Mar

$$\frac{1.43E - 03 \frac{kg}{t}}{1.44 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.10\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{3.05E - 03 \frac{kg}{t}}{4.11 \frac{kg}{t}} * 100\% = 0.07\%$$

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, Sedimentador

Cuadro No.217 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, sedimentador

Fecha	Post Cush Cush (kg/t de caña)
30-Mar	9.21E-02
30-Mar	9.32E-02
12-Apr	5.49E-02
12-Apr	5.87E-02
Total del cush cush	2.99E-01

Fecha	Post Cush Cush (lb/t de caña)
30-Mar	0.186
30-Mar	0.189
12-Apr	0.111
12-Apr	0.119
Total del cush cush	0.60

- Pérdida expresada en USD/t

$$0.60 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.08 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$0.08 \frac{USD}{t} * 1,674,127.17 t = USD 137,718.40$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 137,718,40 * GTQ 7.36 = GTQ 1,013,881.08$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.219 Pérdidas de azúcar Sedimentador (UVG)

Fecha	cush cush (kg/t)
30-Mar	1.85E-01
12-Apr	1.14E-01
Totales	2.99E-01

Cuadro No.220 Pérdidas de azúcar sedimentador (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada kg/t(Ingenio)
30-Mar	0.45
12-Apr	1.89
Totales	2.34

- Cálculo del porcentaje 30-Mar

$$\frac{1.85E - 01 \frac{kg}{t}}{0.45 \frac{kg}{t}} * 100\% = 40.77\%$$

- Cálculo del porcentaje 12-Apr

$$\frac{1.14E - 01 \frac{kg}{t}}{1.89 \frac{kg}{t}} * 100\% = 6.02\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{2.99E - 01 \frac{kg}{t}}{2.34 \frac{kg}{t}} * 100\% = 12.76\%$$

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, conductor de caña
Tándem B

Cuadro No.221 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, conductor de caña Tándem B

Fecha	Conductor de Caña (kg/t de caña)
2/22/18	1.69
3/3/18	2.29
3/8/18	0.93
3/15/18	3.21
3/26/18	1.10
4/5/18	4.78
4/12/18	1.89
Totales	15.89

Fecha	Conductor de Caña (lb/t de caña)
2/22/18	3.42
3/3/18	4.64
3/8/18	1.88
3/15/18	6.50
3/26/18	2.22
4/5/18	9.68
4/12/18	3.82
Totales	32.16

Cuadro No.222 Precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la
zafra 2017-2018

Precio USD /lb (NYSE)	
\$	0.14

Cuadro No.223 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.

Promedio del tipo de cambio USD - GTQ durante la zafra 17-18	
GTQ	7.36

Cuadro No.224 Teladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018 en el Tándem B

Teladas molidas por el ingenio Tándem A
1,155,649.00

- Pérdida expresada en USD/t

$$32.16 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 4.37 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$4.37 \frac{USD}{t} * 1,155,649.00 t = USD 5,054,531.37$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 5,054,531.37 * GTQ 7.36 = GTQ 37,211,395.44$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.225 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem B (UVG)

Fecha	Conductor de caña Tándem B (kg/t)
2/22/18	0.34
3/3/18	0.08
3/8/18	0.44
3/15/18	0.52
3/26/18	0.36
4/5/18	0.42
4/12/18	0.26
Totales	2.42

Cuadro No.226 Pérdidas de azúcar conductor de caña Tándem B (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada kg/t (Ingenio)
2/22/18	0.84
3/3/18	2.29
3/8/18	0.93
3/15/18	1.61
3/26/18	0.55
4/5/18	2.39
4/12/18	1.89
Totales	10.50

- Cálculo del porcentaje 22-Feb

$$\frac{0.34 \frac{kg}{t}}{0.84 \frac{kg}{t}} = 40.39\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Mar

$$\frac{0.08 \frac{kg}{t}}{2.29 \frac{kg}{t}} = 3.39\%$$

- Cálculo del porcentaje 8-Mar

$$\frac{0.44 \frac{kg}{t}}{0.93 \frac{kg}{t}} = 47.63\%$$

- Cálculo del porcentaje 15-Mar

$$\frac{0.52 \frac{kg}{t}}{1.61 \frac{kg}{t}} = 32.42\%$$

- Cálculo del porcentaje 26-Mar

$$\frac{0.36 \frac{kg}{t}}{0.55 \frac{kg}{t}} = 64.87\%$$

- Cálculo del porcentaje 5-Apr

$$\frac{0.42 \frac{kg}{t}}{2.39 \frac{kg}{t}} = 17.73\%$$

- Cálculo del porcentaje 12-Apr

$$\frac{0.26 \frac{kg}{t}}{1.89 \frac{kg}{t}} = 13.52\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{2.42 \frac{kg}{t}}{10.50 \frac{kg}{t}} = 23.02\%$$

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, bombas Tándem B

Cuadro No.227 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, bombas Tándem B

Fecha	Bombas Tándem B (kg/t de caña)
2/22/18	5.02E-08
3/15/18	9.60E-08
4/5/18	4.05E-05
Totales	4.06E-05

Fecha	Bombas Tándem B (lb/t de caña)
2/22/18	1.02E-07
3/15/18	1.94E-07
4/5/18	8.19E-05
Totales	8.22E-05

- Pérdida expresada en USD/t

$$8.22E - 05 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.000011 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$0.000011 \frac{USD}{t} * 1,155,649.00 t = USD 12.92$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 12.92 * GTQ 7.36 = GTQ 95.14$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.228 Pérdidas de azúcar bombas Tándem B (UVG)

Fecha	Pérdida en bombas (kg/t)
2/22/18	4.06E-05
Totales	4.06E-05

Cuadro No. 229 Pérdidas de azúcar bombas Tándem B (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada kg/t (Ingenio)
2/22/18	0.84
Totales	0.84

- Cálculo del porcentaje 22-Feb

$$\frac{4.06E - 05 \frac{kg}{t}}{0.84 \frac{kg}{t}} = 0.005\%$$

Determinación de la pérdida de azúcar expresada en GTQ, refinería

Cuadro No.230 Pérdidas de azúcar obtenidas a partir del muestreo realizado, refinería

Fecha	Tubería 21 (kg/t de caña)
27-Jan	1.27E-04
3-Feb	1.55E-04
3-Mar	8.77E-05
Totales	3.70E-04

Fecha	Tubería 21 (lb/t de caña)
27-Jan	2.57E-04
3-Feb	3.14E-04
3-Mar	1.78E-04
Totales	7.49E-04

- Pérdida expresada en USD/t

$$7.49E - 04 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.00010 \frac{USD}{t}$$

Fecha	Tubería 22 (kg/t de caña)
27-Jan	1.15E-02
3-Feb	9.20E-03
3-Mar	1.13E-02
Totales	3.20E-02

Fecha	Tubería 22 (lb/t de caña)
27-Jan	2.33E-02
3-Feb	1.86E-02
3-Mar	2.29E-02
Totales	6.48E-02

- Pérdida expresada en USD/t

$$6.48E - 02 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.0088 \frac{USD}{t}$$

Fecha	Tuberia 23 (kg/t de caña)
27-Jan	2.31E-04
3-Feb	1.20E-04
3-Mar	1.55E-04
Totales	5.06E-04

Fecha	Tuberia 23 (lb/t de caña)
27-Jan	4.67E-04
3-Feb	2.44E-04
3-Mar	3.14E-04
Totales	1.02E-03

- Pérdida expresada en USD/t

$$1.02E - 03 \frac{lb}{t} * 0.14 \frac{USD}{t} = 0.00014 \frac{USD}{t}$$

Cuadro No.231 Precio promedio de la libra de azúcar en el mercado internacional durante los meses de la zafra 2017-2018

Precio USD /lb (NYSE)	
\$	0.14

Cuadro No.232 Promedio del tipo de cambio GTQ – USD durante la zafra 2017-2018.

Promedio del tipo de cambio USD - GTQ durante la zafra 17-18	
GTQ	7.36

Cuadro No.233 Teladas molidas por el ingenio durante la zafra 2017-2018

Teladas molidas por el ingenio total
2,829,776.57

- Suma de las pérdidas expresadas en USD/t

$$0.00010 + 0.0088 + 0.00014 = 0.009 \frac{USD}{t}$$

- Pérdida expresada en USD

$$0.009 \frac{USD}{t} * 2,829,776.57 t = USD 25,608.50$$

- Pérdida expresada en GTQ

$$USD 25,608.50 * GTQ 7.36 = GTQ 188,529.46$$

Determinación del porcentaje al que equivalen las pérdidas del equipo de trabajo UVG, a las pérdidas registradas por el ingenio en los días de muestreo.

Cuadro No.234 Pérdidas de azúcar tubería 21, área de la refinería (UVG)

Fecha	Pérdida tubería 21 (kg/t)
27-Jan	1.27E-04
3-Feb	1.55E-04
3-Mar	8.77E-05
Totales	3.70E-04

Cuadro No.235 Pérdidas de azúcar tubería 21, área de la refinería (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
27-Jan	2.02
3-Feb	2.26
3-Mar	2.29
Totales	6.57

- Cálculo del porcentaje 27-Jan

$$\frac{1.27E - 04 \frac{kg}{t}}{2.02 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Feb

$$\frac{1.55E - 04 \frac{kg}{t}}{2.26 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Mar

$$\frac{8.77E - 05 \frac{kg}{t}}{2.29 \frac{kg}{t}} = 0.001\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{3.70E - 04 \frac{kg}{t}}{6.57 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

Cuadro No.236 Pérdidas de azúcar tubería 22, área de la refinería (UVG)

Fecha	Pérdida tubería 22 (kg/t)
27-Jan	1.15E-02
3-Feb	9.20E-03
3-Mar	1.13E-02
Totales	3.20E-02

Cuadro No.237 Pérdidas de azúcar tubería 22, área de la refinería (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
27-Jan	2.02
3-Feb	2.26
3-Mar	2.29
Totales	6.57

- Cálculo del porcentaje 27-Jan

$$\frac{1.15E - 02 \frac{kg}{t}}{2.02 \frac{kg}{t}} = 0.57\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Feb

$$\frac{9.20E - 03 \frac{kg}{t}}{2.26 \frac{kg}{t}} = 0.41\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Mar

$$\frac{1.13E - 02 \frac{kg}{t}}{2.29 \frac{kg}{t}} = 0.49\%$$

- Porcentaje total

$$\frac{3.20E - 02 \frac{kg}{t}}{6.57 \frac{kg}{t}} = 0.49\%$$

Cuadro No.238 Pérdidas de azúcar tubería 23, área de la refinería (UVG)

Fecha	Pérdida tubería 23 (kg/t)
27-Jan	2.31E-04
3-Feb	1.20E-04
3-Mar	1.55E-04
Totales	5.06E-04

Cuadro No.239 Pérdidas de azúcar tubería 23, área de la refinería (Ingenio azucarero)

Fecha	Pérdida registrada (kg/t) (Ingenio)
27-Jan	2.02
3-Feb	2.26
3-Mar	2.29
Totales	6.57

- Cálculo del porcentaje 27-Jan

$$\frac{2.31E-04 \frac{kg}{t}}{2.02 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Feb

$$\frac{1.20E-04 \frac{kg}{t}}{2.26 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

- Cálculo del porcentaje 3-Mar

$$\frac{1.55E-04 \frac{kg}{t}}{2.29 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

- Porcentaje Total

$$\frac{5.06E-04 \frac{kg}{t}}{6.57 \frac{kg}{t}} = 0.01\%$$

Cuadro No.240 Precio mensual de la libra de azúcar en el mercado internacional (Contrato No.11 expresado en USD cents/lb)

Precio promedio mensual azúcar crudo - Contrato No. 11 USD cents/lb	
Noviembre 2017	14.96
Diciembre 2017	14.43
Enero 2018	13.97
Febrero 2018	13.57
Marzo 2018	12.82
Abril 2018	11.82

Cuadro No.241 Pérdidas de azúcar diarias durante la zafra 2017-2018.

Día de Zafra.	Pérdida en kg/t de caña
1	3.11
2	3.06
3	0.95
4	1.46
5	1.58
6	1.33
7	1.33
8	1.51
9	1.83
10	1.63
11	1.52
12	1.01
13	1.77
14	1.79
15	1.61
16	2.30
17	2.37
18	1.60
19	1.28
20	2.12
21	1.66
22	2.46
23	1.57
24	1.00
25	1.32

Día de Zafra. Pérdida en kg/t de caña

26	2.05
27	2.63
28	1.68
29	1.63
30	3.42
31	0.95
32	1.67
33	1.97
34	1.33
35	1.42
36	1.22
37	1.79
38	1.97
39	2.17
40	1.31
41	1.12
42	2.60
43	1.68
44	1.45
45	0.98
46	1.23
47	1.43
48	1.68
49	1.33
50	0.95
51	1.71
52	1.65
53	1.97
54	1.60
55	2.05
56	1.36
57	1.72
58	1.76
59	2.07
60	2.26
61	2.39
62	2.21
63	1.59
64	2.52
65	1.23

Día de Zafra	Pérdida en kg/t de caña
66	1.15
67	1.81
68	1.38
69	1.10
70	1.03
71	1.59
72	1.69
73	1.37
74	2.01
75	2.13
76	1.57
77	1.85
78	1.79
79	2.28
80	2.14
81	2.26
82	2.31
83	2.21
84	2.23
85	1.16
86	0.70
87	0.58
88	0.97
89	0.44
90	1.05
91	0.57
92	0.87
93	0.69
94	1.00
95	1.22
96	1.21
97	0.86
98	1.96
99	0.82
100	0.84
101	1.54
102	2.67
103	1.57
104	1.47
105	2.32
106	2.23

Día de Zafra	Pérdida en kg/t de caña
107	2.03
108	1.31
109	2.29
110	1.36
111	1.19
112	0.57
113	0.89
114	0.93
115	0.82
116	0.56
117	1.47
118	0.92
119	1.08
120	1.55
121	1.60
122	1.78
123	1.44
124	1.24
125	1.01
126	0.99
127	1.68
128	1.42
129	0.53
130	0.73
131	0.79
132	0.55
133	0.41
134	0.70
135	0.70
136	0.45
137	0.63
138	1.09
139	1.29
140	1.99
141	2.17
142	2.39
143	2.78
144	4.76
145	3.81
146	4.54
147	3.80

Figura No.191 Matajuntas a colocarse en los conductores de caña

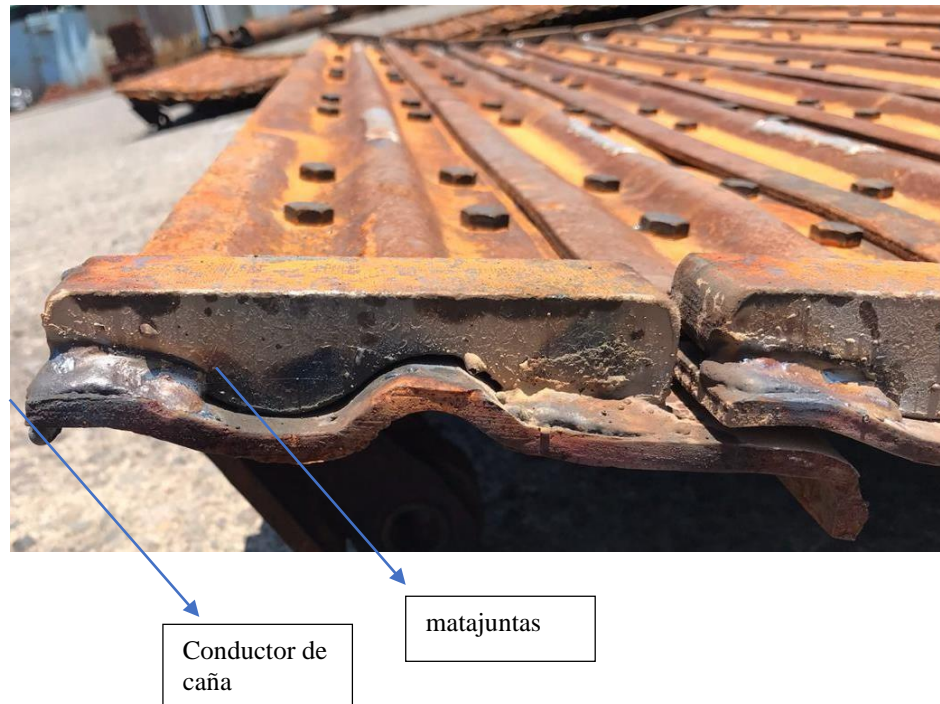
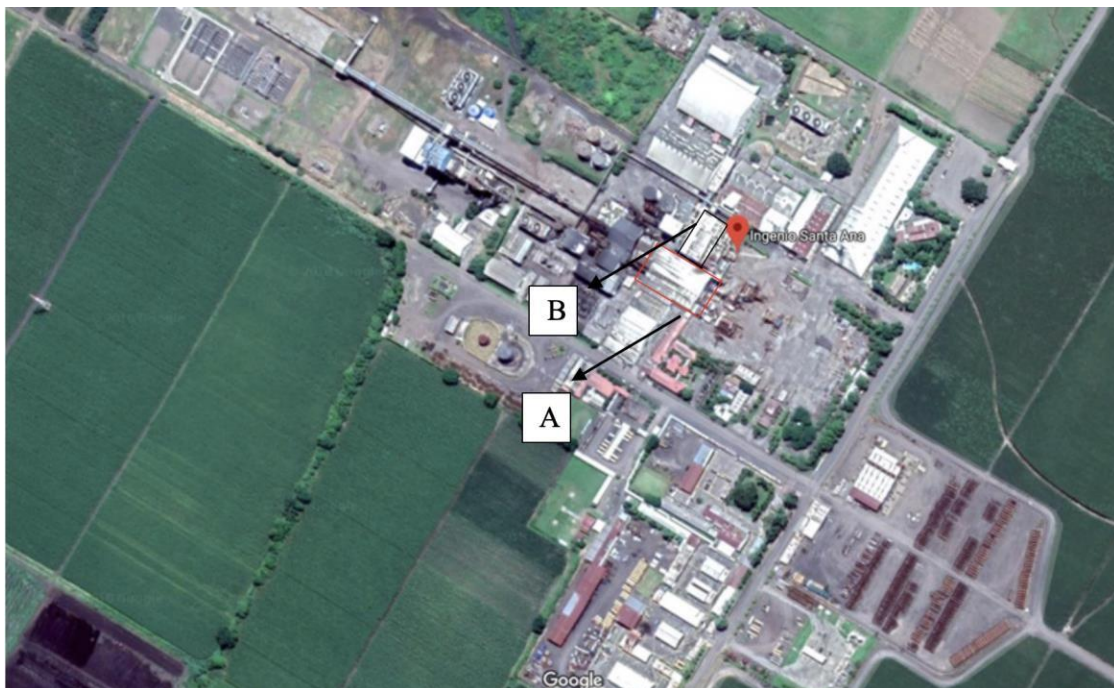
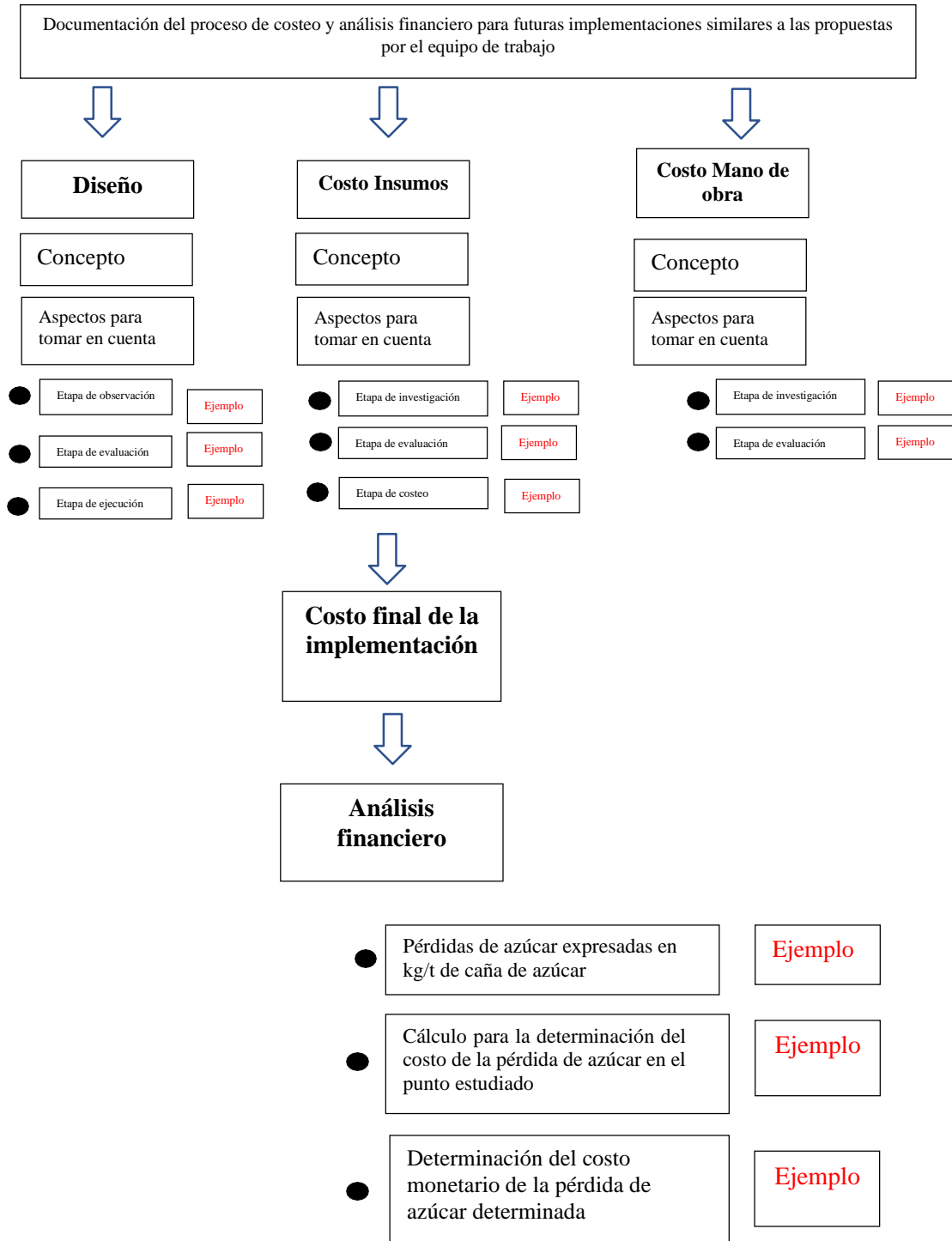


Figura No.192 Mapa del ingenio azucarero donde se encuentran identificadas las áreas de trabajo.



Donde A es el área del Tándem "A" y B es el área de la refinería

Figura No.193 Diagrama de bloques, vista general



GLOSARIO

- Alzadora: (Cargadora) Equipo utilizado para obtener la muestra tomada por la parte superior de la jaula.
- Brix: Porcentaje de peso (P/P%) de sólidos disueltos en una solución.
- PTH (Peso torta húmeda): Medición del peso de los restos de caña (fibra) tras haber extraído el jugo de caña por efecto de la aplicación de presión en la prensa hidráulica.
- Pol%C (Pol%C): Porcentaje de azúcar en la caña.
- Fibra%C (F%C): Porcentaje de fibra en la caña.
- Pante: Distribución de terreno ubicada dentro de una finca.
- lb/t: Libras españolas de azúcar / t de caña. (La conversión es Pol%C = 0.05 lb/t)
- Pol: Hace referencia a la concentración de sacarosa obtenida por el método polarimétrico.
- pH: Es el potencial de hidrógeno, también como acidez o alcalinidad de una muestra.
- Bagazo: Material restante de la caña de azúcar posterior a la extracción del jugo
- Cachaza: Residuo eliminado en el proceso de clarificación del jugo de caña, se elimina por medio de filtros rotativos o de bandas.
- Monosacárido: Azúcares sencillos que no se hidrolizan, compuestos de entre 3 a 7 átomos de carbono.
- Disacárido: Compuesto formado por la unión de dos monosacáridos.
- HPLC: Cromatógrafo líquido de alta resolución (High Performance Liquid Chromatograph, por sus siglas en inglés)
- Ppm: Partes por millón, unidad de concentración
- T: Telada métrica (1,000 kilogramos), unidad de masa
- T: Telada corta (1,016.05 kilogramos), unidad de masa
- Bagacillo: Partículas del bagazo resultantes del proceso de molienda.
- Matajuntas: Piezas metálicas en donde la junta existente entre dos piezas se interrumpe o termina en otra pieza en conjunto. Piezas de color amarillo que se muestran en Figura 13.
- Parshall: Un medidor Parshall es un sistema que se aplica para determinar el caudal de fluidos en canales.
- Tándem: Se le llama Tándem a la serie de molinos o tren de molinos.
- Tomamuestra: Se le llama “tomamuestra” a un beaker plástico adherido a una varilla plástica larga.
- Cachaza: residuo eliminado en el proceso de clarificación del jugo de caña, se elimina por medio de filtros rotativos o de bandas.

- Monosacárido: azúcares sencillos que No se hidrolizan, compuestos de entre 3 a 7 átomos de carbono.
- Disacárido: Compuesto formado por la unión de dos monosacáridos.
- Bushing: Es un rodamiento que cubre el eje y que tiene como objetivo reducir la fricción entre el eje giratorio y los rodets de la bomba. Además, su función también es servir de apoyo, facilitar el deslizamiento y reducir el rozamiento.
- Cush Cush: Equipo de filtración del jugo de caña proveniente de los molinos. Tiene como objetivo remover los residuos sólidos (pedazos de caña, bagacillo, etc.) del jugo de caña.
- Sketch: Esbozo que tiene como objetivo brindar una idea gráfica y visual de la forma y medidas de algo determinado.
- Magma de azúcar: Líquido muy viscoso y abrasivo, el cual se caracteriza tener la cualidad de endurecerse cuando No fluye.
- Sistema “SÍGES”: Sistema de costos interno del ingenio, el cual es utilizado para presupuestar materiales y es alimentado por el área de almacén.