

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**Manejo de desechos sólidos residuales del tratamiento de agua
en la planta “Lo De Coy”**

Trabajo de graduación presentado por:

Maria Isabel Falla Castellanos para optar al grado académico de
Licenciada en Educación.

Osman Rod Anthony Ordóñez Guerra para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química.

Daniella Suger Bedorin para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química.

Estuardo Porta Cordón para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química.

Cristian Josué Brolo Tobar para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Industrial.

Guatemala

2012

**Manejo de desechos sólidos residuales del tratamiento
de agua en la planta “Lo De Coy”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**Manejo de desechos sólidos residuales del tratamiento de agua
en la planta “Lo De Coy”**

Trabajo de graduación presentado por:

Maria Isabel Falla Castellanos para optar al grado académico de
Licenciada en Educación.

Osman Rod Anthony Ordóñez Guerra para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química.

Daniella Suger Bedorin para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química.

Estuardo Porta Cordón para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química.

Cristian Josué Brolo Tobar para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Industrial.

Guatemala

2012

Vo. Bo. :

(f) 

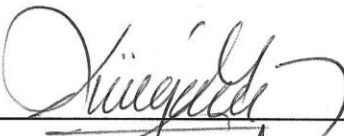
Ing. Cristian Rossi

Tribunal Examinador:

(f) _____
Ing. Gamaliel Zambranno

(f) 

Ing. Cristian Rossi

(f) 

Ing. Alejandro Kong

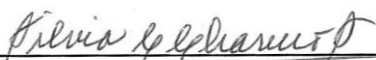
(f) 

Ing. Andrés Chicol

(f) 

Ing. Allan Cifuentes

(f) 
Licda. Silvia Yela Boccaletti

(f) 
Licda. Silvia Cristina Charuco Sagastume

(f) 
Inga. Mariana Perera

(f) 
Ing. Estuardo Sierra

Fecha de aprobación: 12 de noviembre del 2012.

CONTENIDO

I.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
II.	ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
III.	ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	xv
IV.	ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	xv
V.	RESUMEN.....	xvi
VI.	INTRODUCCIÓN	1
VII.	MARCO TEÓRICO	3
VIII.	ANTECEDENTES.....	111
IX.	JUSTIFICACIÓN.....	113
X.	OBJETIVOS.....	115
XI.	METODOLOGÍA	118
XII.	CRONOGRAMA.....	119
XIII.	RESULTADOS.....	121
XIV.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS RESIDUALES.....	161
XV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	163
XVI.	CONCLUSIONES.....	187
XVII.	RECOMENDACIONES.....	193
XVIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	197
XIX.	APÉNDICE.....	202
XX.	APÉNDICE 2.....	271

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Sistema de floculación de canal con báfles.	7
Figura No. 2. Filtro de gravedad.....	8
Figura No. 3. Diagrama de un tanque de sedimentación primaria.....	11
Figura No. 4. Factor de temperatura, materiales estándar.	17
Figura No. 5 Tablas del factor de fricción.	17
Figura No. 6 Determinación de factor de servicio.....	18
Figura No. 7 Datos del eje.	20
Figura No. 8 Par de torsión máximo recomendado en el eje motriz.	21
Figura No. 9. Digestión anaerobia.....	28
Figura No. 10. Partes principales de un tornillo transportador.....	29
Figura No. 11. Tornillo transportador.....	30
Figura No. 12. Acoplamientos y ejes del tornillo.....	30
Figura No. 13. Partes para realizar cambios de una sección del tornillo.	31
Figura No. 14. Ganchos para sostener el tornillo.	31
Figura No. 15. Cobertores para la tubería en forma de “U”.	32
Figura No. 16. Factor de sobrecarga.....	37
Figura No. 17 Diseño de tolva más tornillo sin fin ideal.	40
Figura No. 18. Tabla psicométrica para aire y vapor de agua a 1 atm en unidades SI.	40
Figura No. 19. Contenido de agua en el equilibrio de algunos sólidos comunes a 25°C. .	44
Figura No. 20 Tipos de equipo de secado de sólidos.....	47
Figura No. 21. Curva de secado por lotes.....	49
Figura No. 22 Curva típica de rapidez de secado, condiciones de secado constante.	50
Figura No. 23 Gradientes de temperatura en un secador a contracorriente continua.	53
Figura No. 24. Equipo de compresión simple.....	82
Figura No. 25 Efecto del ión sulfato sobre el tiempo de formación del flóculo de sulfato de aluminio.....	88
Figura No. 26 Efecto del período de floculación en la sedimentación.....	89
Figura No. 27 Efecto de la variación del gradiente de velocidad en la turbiedad residual según TeKippe y Ham.	91
Figura No. 28 Floculadores de pantallas.....	92
Figura No. 29 Proceso del análisis HEMP.	95
Figura No. 30 Matriz de riesgos y consecuencias.	95
Figura No. 31 El método de las 5S	98
Figura No. 32. Aprendizaje significativo.	110
Figura No. 33. Plano de planta de tratamiento de agua “Lo de Coy”.	112
Figura No. 34. Dimensiones del silo y tolva.....	134
Figura No. 35. Vista de planta del sistema de estabilización de lodos residuales.	135
Figura No. 36 Patio de secado.....	136
Figura No. 37 Layout de la planta de tratamiento y secado de lodos residuales de EMPAGUA.....	139

Figura No. 38. Pregunta 1: ¿Recibiste algún tipo de introducción a lo que ibas a aprender en tu visita a la planta?	140
Figura No. 39. Pregunta 2: ¿Cuál es el proceso de purificación de agua en la planta “Lo de Coy”?	141
Figura No. 40. Pregunta 9: ¿Qué te pareció la visita a la planta de EMPAGUA “Lo de Coy”?	141
Figura No. 41 Ubicación de artículos y objetos.	149
Figura No. 42 Asignación de limpieza en el edificio de operaciones.	150
Figura No. 43. Radio recomendado para las esquinas.....	153
Figura No. 44. Propuesta de reingeniería en floculadores.....	154
Figura No. 45 Dimensionamiento de la primera tolva.	251
Figura No. 46 Dimensionamiento de la segunda tolva.	251
Figura No. 47 Túnel de intercambio de calor para aire.....	271
Figura No. 48 Gabinete para bandejas de secado.	272
Figura No. 49 Sistema de filtración para eliminar el exceso de agua en los sólidos residuales.	273
Figura No. 50 Equipo para el análisis de la capacidad calorífica.....	274
Figura No. 51. Diagrama de bloques de situación actual de la planta.	282
Figura No. 52. Diagrama de bloques de situación actual de la planta.	283
Figura No. 53. Pala manual para lavado de tanques.....	285
Figura No. 54 Vista lateral de pala manual para lavado de tanque.	286
Figura No. 55 Vista superior de palas de lavado manual.	286
Figura No. 56: Desembocadura de drenajes en el río Villalobos.	287
Figura No. 57 Río Villalobos en el punto de desembocadura de drenajes.	287
Figura No. 58 Propuesta de reingeniería en floculadores.....	291
Figura No. 59Radio recomendado para las esquinas.....	291
Figura No. 60 Plano de la Planta "Lo de Coy".....	300
Figura No. 61: Ubicación de artículos y objetos.	303
Figura No. 62: Asignación de limpieza.	304
Figura No. 63: Ejemplo de las tarjetas a utilizar.	305
Figura No. 64: Expectativas de inflación según BANGUAT.....	322
Figura No. 65 Inicio de la siembra de cilantro.	343
Figura No. 66 Lunes 02 de julio 2012 (Segunda semana).....	343
Figura No. 67 Lunes 09 de julio 2012 (Tercera semana).	343
Figura No. 68 Lunes 16 de julio 2012 (Cuarta semana)	344
Figura No. 69: Lunes 23 de julio 2012 (Quinta semana)	344
Figura No. 70: Lunes 30 de julio 2012 (Sexta semana).....	344
Figura No. 71: Lunes 06 de septiembre 2012 (Séptima semana).....	345
Figura No. 72: Control lunes 10 de septiembre 2012 (Primera semana).	345
Figura No. 73. Control lunes 17 de septiembre 2012 (Segunda semana)	346
Figura No. 74. Control lunes 24 de septiembre 2012 (Tercera semana).	346
Figura No. 75. Control lunes 01 de octubre 2012 (Cuarta semana).	347
Figura No. 76. Control lunes 08 de octubre 2012 (Quinta semana).....	347
Figura No. 77. 5% de Lodo lunes 10 de septiembre 2012 (Primera semana).....	348

Figura No. 78. 5% de Lodo lunes 17 de septiembre 2012 (Segunda semana).....	348
Figura No. 79. 5% de Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Tercera semana).....	349
Figura No. 80. 5% de Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Cuarta semana).....	349
Figura No. 81. 5% de Lodo lunes 08 de octubre 2012 (Quinta semana).....	349
Figura No. 82. Control lunes 17 de septiembre 2012 (Primera semana).....	350
Figura No. 83. 5% Lodo lunes 17 de septiembre 2012 (Primera semana).....	350
Figura No. 84. 10% Lodo lunes de 17 de septiembre 2012 (Primera semana).....	351
Figura No. 85. Control lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana).....	351
Figura No. 86. 5% Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana).....	351
Figura No. 87. 10% Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana).....	352
Figura No. 88. Control lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana).....	352
Figura No. 89. 5% Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana).....	352
Figura No. 90. 10% Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana).....	353
Figura No. 91. Control lunes 08 de octubre 2012 (Cuarta semana).....	353
Figura No. 92. 5% de Lodo lunes 08 de octubre 2012 (Cuarta semana).....	353
Figura No. 93. 10% de Lodo lunes 08 octubre 2012 (Cuarta semana).....	354
Figura No. 94. Peligro encontrado en el camino.	354
Figura No. 95. Sulfato de Aluminio.....	354
Figura No. 96. Desorden en cuarto de tolvas.	355
Figura No. 97. Peligro con tanques de gas cloro.....	355
Figura No. 98. Bridas de retención corroídas.	355
Figura No. 99. Baranda corroída.....	355
Figura No. 100. Gradas semiocultas.....	355
Figura No. 101. Corrosión de barandas.	355
Figura No. 102. Objetos dejados en el camino.....	356
Figura No. 103. Corrosión de tuberías.	356
Figura No. 104. Inclinación peligrosa.	356
Figura No. 105. Falta de barandas de seguridad.	356
Figura No. 106. Suelo deteriorado, posible tropiezo.....	356
Figura No. 107. Falta de compleción de baranda.....	356
Figura No. 108. Retención de tuberías deteriorado.....	357
Figura No. 109. Falta de barandas de seguridad.	357
Figura No. 110. Sulfato de Aluminio.....	357
Figura No. 111. Tubería colgando en el aire.	357
Figura No. 112. Tubería en mal estado.....	357
Figura No. 113. Mangueras sobre el suelo.	357
Figura No. 114. Dosificador de sulfato de aluminio.	358
Figura No. 115. Tanques de Gas Cloro.....	358
Figura No. 116. Pelota de plástico sumergida.....	358
Figura No. 117. Instrumento utilizado para mediciones.....	358
Figura No. 118. Esquinas de floculación afectados.....	358

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Coagulantes inorgánicos utilizados frecuentemente.	6
Tabla No. 2 Composición química y propiedades de lodos sin tratar y digeridos.	12
Tabla No. 3. Concentraciones típicas de elementos en un lodo estabilizado y comparación con un fertilizante comercial.	13
Tabla No. 4. Concentraciones de metales pesados en lodo digerido proveniente de una planta típica de aguas municipales.	13
Tabla No. 5. Concentraciones de metales pesados en lodo digerido proveniente de una planta típica de aguas municipales (Cont.).....	14
Tabla No. 6. Concentraciones típicas de diferentes tipos de lodos.	14
Tabla No. 7. Dosis típicas de cal para la estabilización de lodos líquidos.	26
Tabla No. 8. Efectividad de los procesos de estabilización de lodos.	28
Tabla No. 9. Código de clasificación del material a utilizar.	33
Tabla No. 10. Características del material a utilizar.	34
Tabla No. 11. Capacidad de un tornillo transportador a cierto RMP y diámetro a utilizar.	34
Tabla No. 12. Factor de rodamiento.....	36
Tabla No. 13. Factor del diámetro del tornillo.....	36
Tabla No. 14. Factor de vuelo.....	36
Tabla No. 15. Factor de paletas.....	37
Tabla No. 16. Eficiencia de la unidad, e.....	37
Tabla No. 17. Tuberías para los tornillos transportadores.....	38
Tabla No. 18. Ratings de torque.....	39
Tabla No. 19. Propiedades del aire a diferentes temperaturas.....	43
Tabla No. 20. Límites máximos permisibles de las propiedades fisicoquímicas de los lodos según su forma de disposición.....	57
Tabla No. 21. Ejemplos de fuentes y efectos de constituyentes de aguas residuales.	60
Tabla No. 22. Importantes contaminantes del agua residual basados en efectos potenciales y preocupaciones sobre su tratamiento.....	61
Tabla No. 23. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos o biosólidos.....	70
Tabla No. 24. Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos o biosólidos.....	70
Tabla No. 25. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos.....	70
Tabla No. 26 Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas.....	76
Tabla No. 27. Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos.	76
Tabla No. 28. Consistencia del suelo respecto su resistencia.....	82
Tabla No. 29. Control de aficidas para los pulgones.....	87
Tabla No. 30. Componentes de Ciencias Naturales y Tecnología.....	107
Tabla No. 31. Componentes de Ciencias Naturales y Tecnología (Cont.).....	108
Tabla No. 32. Volúmenes obtenidos de los tanques de sedimentación, antes y después del proceso de drenaje y durante la limpieza de los mismos.	121
Tabla No. 33. Volumen de cada compuesto químico presente en los lodos en base a porcentajes masa-masa obtenidos en el análisis de los lodos.....	121

Tabla No. 34. Impacto ambiental de cada compuesto químico desechado en el río Villalobos.	122
Tabla No. 35. Comparación anual de los volúmenes residuales del proceso actual de vaciado y limpieza de los clarificadores, y el proceso propuesto.....	123
Tabla No. 36. Calendarización de lavado de tanques de sedimentación para el sistema de tratamiento de lodos y agua propuesto.	123
Tabla No. 37: Resultados de la curva de rapidez de secado de los sólidos residuales por medio de convección de aire.	124
Tabla No. 38: Resultados para el secado por medio de convección de aire a 56 grados Celsius, 50% humedad y velocidad de 11.5 m/s	126
Tabla No. 39: Resultados de energía y combustible necesarios para un secado continuo.	126
Tabla No. 40: Tiempo y área necesarios para el patio de secado solar con el flujo de aire en la planta "Lo De Coy".	126
Tabla No. 41: Tabla de referencia para los equipos mostrados en el diagrama de flujo.	130
Tabla No. 42. Informe de ensayo de laboratorio químico de lodo residual de EMPAGUA.....	130
Tabla No. 43. Densidad relativa y absorción.	131
Tabla No. 44. Índice de plasticidad.	131
Tabla No. 45. Parámetros del lodo residual de EMPAGUA.....	131
Tabla No. 46. Altura de la milpa respecto a cada semana para milpa en cajas plásticas.....	132
Tabla No. 47. Altura de la milpa respecto a cada semana para milpa en macetas.....	132
Tabla No. 48. Peso obtenido de biomasa en cada muestra.	132
Tabla No. 49. Resultados de las pruebas de resistencia.....	133
Tabla No. 50. Resultados de los tornillos transportadores a utilizar.	133
Tabla No. 51. Dimensiones del patio de secado.	134
Tabla No. 52. Lista de equipos y accesorios de la Figura No. 35.	135
Tabla No. 53 Análisis de riesgos y peligros.....	142
Tabla No. 54. Análisis de riesgos y peligros (segunda parte).....	143
Tabla No. 55. Análisis HEMP.....	144
Tabla No. 56. Análisis HEMP (segunda parte).....	144
Tabla No. 57. Matriz de riesgos.	145
Tabla No. 58. Análisis de las 4T.....	146
Tabla No. 59. Análisis de las 4T.....	147
Tabla No. 60. Clasificación y descarte.	148
Tabla No. 61. Secciones evaluadas.....	148
Tabla No. 62 Artículos conservados y su ubicación.	149
Tabla No. 63 Artículos descartados.	149
Tabla No. 64 Estudio de tiempos, residencia del agua en verano.	150
Tabla No. 65 Estudio de tiempos, residencia del agua en invierno.	151
Tabla No. 66 Estudio de tiempos primer tramo floculadores.	151
Tabla No. 67 Estudio de tiempos, segundo tramo en floculadores.....	152
Tabla No. 68. Caudal de salida en floculadores.....	153

Tabla No. 69 Costo promedio anual de sueldos de limpieza de tanques.	154
Tabla No. 70. Costo anual de agua utilizada.	155
Tabla No. 71. Costo de vaciado anual.	155
Tabla No. 72. Total de costos anuales y mensuales de limpieza de tanques de sedimentación.....	155
Tabla No. 73. Flujo de efectivo.....	156
Tabla No. 74 Costo de almacenar inventario.	157
Tabla No. 75. Ingresos por agua recuperada.	157
Tabla No. 76. Datos requeridos para el flujo de efectivo.	157
Tabla No. 77. Ingresos y egresos de cal y lodo.....	158
Tabla No. 78. Inversión inicial y depreciación.	159
Tabla No. 79 Análisis de sensibilidad.....	159
Tabla No. 80. Tiempo de recuperación.	160
Tabla No. 81. Escenario de jardinización.	160
Tabla No. 82: Caudal de entrada principal en verano.	202
Tabla No. 83: Tiempos de retención en los floculadores para la época de verano.	203
Tabla No. 84: Tiempos de retención en los floculadores para la época lluviosa.	203
Tabla No. 85 Estudio de tiempos primer tramo floculadores.	204
Tabla No. 86 Estudio de tiempos, segundo tramo en floculadores.	205
Tabla No. 87: Especificaciones de los floculadores y caudal que manejan de salida.	206
Tabla No. 88: Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 7 de junio 2012.....	206
Tabla No. 89: Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 12 de junio 2012.....	207
Tabla No. 90: Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 20 de junio 2012.....	208
Tabla No. 91: Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 25 de junio 2012.....	209
Tabla No. 92: Tiempo y altura de llenado de un recipiente con agua proveniente de manguera conectada al chorro de agua.....	210
Tabla No. 93: Tiempo y altura de llenado de un recipiente con agua proveniente de mangueras pequeñas a presión.....	210
Tabla No. 94: Tiempo de uso de cada fuente de agua para el lavado de los lodos en cada tanque.....	210
Tabla No. 95: Información sobre las canaletas.	211
Tabla No. 96: Datos de la distribución de altura de lodos en un tanque de sedimentación.....	211
Tabla No. 97: Cantidad de lavados por temporada por tanque y cantidad total de lavados anuales.....	212
Tabla No. 98. Datos originales de las pruebas de resistencia.	212
Tabla No. 99. Número de semillas, peso de tierra y lodo utilizado para las muestras. ...	212
Tabla No. 100. Peso de lodo y cal utilizados para las soluciones.....	213
Tabla No. 101. pH inicial de las muestras de lodo diluidas en 100 mL.	213
Tabla No. 102. Control diario del pH en cada muestra realizada.....	214

Tabla No. 103: Humedad del lodo a diferentes tiempos para el filtro de manta.....	224
Tabla No. 104: Determinación de humedad para un rango de siete días para un secado solar sin flujo de aire.....	240
Tabla No. 105: Velocidad del aire promedio diaria en la planta "Lo De Coy". Datos obtenidos de INSIVUMEH.....	241
Tabla No. 106. Dimensiones del "cinta seccional" del tornillo transportador.....	246
Tabla No. 107. Tubería en forma de "U" con el dispositivo "caer abajo" para el transportador de lodo y cal.....	247
Tabla No. 108. Tubería en forma de "U" para el transportador de cal.	247
Tabla No. 109. Sección de descarga del tornillo transportador.	248
Tabla No. 110. Dimensiones de las bridas a utilizar en forma de "U".	248
Tabla No. 111. Dimensionamiento de un gancho para tornillos transportadores.	249
Tabla No. 112. Dimensionamiento para el cobertor del tornillo transportador.	249
Tabla No. 113. Dimensiones del transportador de cal.....	250
Tabla No. 114. Dimensiones del transportador hacia el patio de secado con inclinación de 20°.....	250
Tabla No. 115 Estudio de tiempos en el primer tramo de los floculadores.	253
Tabla No. 116: Estudios de tiempos en el segundo tramo de los floculadores.	254
Tabla No. 117. Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 7 de junio del 2012.	255
Tabla No. 118: Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 12 de junio del 2012.	258
Tabla No. 119: Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 20 de junio del 2012.	260
Tabla No. 120: Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 25 de junio del 2012.	263
Tabla No. 121: Volumen y caudal de agua obtenido de la manguera de lavado conectada al chorro.	266
Tabla No. 122: Volumen y caudal de agua obtenido de mangueras pequeñas a presión.....	266
Tabla No. 123: Caudal que fluye por un agujero de la canaleta y por la canaleta completa.....	266
Tabla No. 124: Agua total utilizada durante el lavado de un tanque desglosado según las formas de lavado utilizadas.....	266
Tabla No. 125: Promedio de agua utilizada para lavado de tanques.....	266
Tabla No. 126. Determinación del volumen de lodos a partir de la curva de distribución de altura de los lodos.	267
Tabla No. 127: (continuación Tabla No. 120) Determinación del volumen de lodos a partir de la curva de distribución de altura de los lodos.	268
Tabla No. 128: Volumen de cada componente químico presente en los lodos residuales de un tanque de sedimentación.	269
Tabla No. 129: Cantidad total de efluentes anuales producidos.....	269
Tabla No. 130. Pelotas seleccionadas.....	276
Tabla No. 131. Dimensiones del recipiente utilizado para elaboración de instrumento. .	277

Tabla No. 132. Realización de pruebas con aire a una velocidad de 4.82 m/s.....	277
Tabla No. 133. Realización de pruebas con aire a una velocidad de 3.79 m/s.....	277
Tabla No. 134 Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR).	280
Tabla No. 135. Precios de equipos a utilizar	292
Tabla No. 136. Elementos de la inversión inicial.	293
Tabla No. 137. Resumen de la Inversión Inicial.	293
Tabla No. 138. Precios de concreto.	293
Tabla No. 139. Precios de fertilizante.....	294
Tabla No. 140. Precio de Cal.	294
Tabla No. 141. Costo de lodo producido en EMPAGUA por 100 libras.	294
Tabla No. 142. Inversión necesaria para una bodega de almacenamiento.	295
Tabla No. 143. Tabla de amortización del préstamo.	297
Tabla No. 144. Clasificación y descarte.	301
Tabla No. 145. Secciones.	302
Tabla No. 146. Organización propuesta 5S.....	302
Tabla No. 147. Artículos descartados.	302
Tabla No. 148. Producción anual de Guatemala.	305
Tabla No. 149. Grupo de enfoque de maíz amarillo.	306
Tabla No. 150. Grupo de enfoque de maíz blanco.	307
Tabla No. 151. Metas propuestas por año para la demanda.	308
Tabla No. 152. Demanda proyectada con metas e inventario.	308
Tabla No. 153. Monto del sueldo por empleado.....	310
Tabla No. 154. Porcentaje de cuotas patronales.....	310
Tabla No. 155. Tiempo de limpiado en horas al mes.	311
Tabla No. 156. Costo promedio anual de sueldos de limpieza de tanques.	311
Tabla No. 157. Tiempo de apertura.	312
Tabla No. 158. Gasto de agua.	312
Tabla No. 159. Lista de precios EMPAGUA.	312
Tabla No. 160. Costos de agua utilizada mensual.	313
Tabla No. 161. Costo anual de agua utilizada.....	313
Tabla No. 162. Proporción de costos por vaciado.	314
Tabla No. 163. Cálculo de porción extra de lodo.....	314
Tabla No. 164. Costo individual de agua y lodo.	315
Tabla No. 165. Costo por metro cúbico de material.	315
Tabla No. 166. Costo de producción.....	315
Tabla No. 167. Gastos administrativos.....	316
Tabla No. 168. Costo de vaciado por tanque.	316
Tabla No. 169. Costo de vaciado mensual.....	316
Tabla No. 170. Costo de vaciado anual.	316
Tabla No. 171. Total de costos anuales y mensuales de limpieza de tanques de sedimentación.....	317
Tabla No. 172. Flujo de agua recuperada.	317
Tabla No. 173. Flujo de lodo recuperado.	317
Tabla No. 174. Flujo de cal a utilizar.	318

Tabla No. 175. Medidas sugeridas del saco de lodo.	318
Tabla No. 176. Producción en sacos por metro cúbico de lodo.	319
Tabla No. 177. Cálculos para la determinación del costo por cada saco de lodo.	319
Tabla No. 178. Ejemplo de la carga de empleados sin proceso automatizado.	320
Tabla No. 179. Cálculo de la eficiencia de la maquinaria con la capacidad de lodo recuperado.	321
Tabla No. 180. Distribución de nuevos empleados.	321
Tabla No. 181. Comportamiento del precio con el efecto de inflación durante el tiempo.	323
Tabla No. 182. Inversión Inicial del proyecto.	324
Tabla No. 183. Resumen Flujo de Efectivo.	325
Tabla No. 184. Punto de equilibrio.	326
Tabla No. 185. Análisis de Sensibilidad.	327
Tabla No. 186. Tiempo de recuperación.	329
Tabla No. 187 Escenario de jardinización.	330
Tabla No. 188. Matriz de riesgos.	331

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama No.1: Representación a diferentes vistas de la banda transportadora.	127
Diagrama No.2: Diagrama de flujo para la banda transportadora.....	128
Diagrama No.3: Diagrama de flujo de la planta de secado y estabilización de sólidos residuales en la planta "Lo De Coy".	129
Diagrama No.4: Dimensiones preliminares de la galera para el pario de secado solar. .	239

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1. Curva de rapidez de secado de los sólidos residuales.	125
Gráfica No. 2. Comportamiento del pH diario del control de estabilización de lodo usando un triplicado de muestra de lodo y una muestra de lechada de cal en un periodo de 25 días.	138
Gráfica No. 3. Curva de secado de lodos para la experimentación del 7 de junio del 2012.	256
Gráfica No. 4. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 7 de junio del 2012.....	257
Gráfica No. 5. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 12 de junio del 2012.....	259
Gráfica No. 6. Curva de secado de lodos para la experimentación del 20 de junio del 2012.	262
Gráfica No. 7. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 20 de junio del 2012.....	262
Gráfica No. 8. Curva de secado de lodos para la experimentación del 25 de junio del 2012.	264
Gráfica No. 9. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 25 de junio del 2012.....	265
Gráfica No. 10. Comportamiento de la demanda proyectada con metas.....	309
Gráfica No. 11. Efecto de la inflación sobre el precio de venta.....	323
Gráfica No. 12. Punto de equilibrio de la propuesta.	326
Gráfica No. 13. Inflación vs TIR.	328
Gráfica No. 14. Precio de venta vs TIR.	328
Gráfica No. 15. Empleados nuevos vs TIR.	328
Gráfica No. 16. Costo de distribución últimos años vs TIR.....	329

RESUMEN

La planta “Lo de Coy” de EMPAGUA tiene a su cargo el tratamiento de agua para consumo en la Ciudad de Guatemala. Durante el proceso se separan los sólidos suspendidos en el agua agregando sulfato de aluminio como floculante. Luego el agua es clarificada en tanques de sedimentación. Como subproducto de este proceso se obtienen lodos residuales. Se producen, en promedio, $1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3$ de sólidos y $1,868.06 \pm 1.681 \text{ m}^3$ de agua clarificada en cada tanque de sedimentación. Los lodos están compuestos por (porcentajes p/p): 50.56 % SiO_2 , 19.39% Al_2O_3 , 18.65% compuestos orgánicos, 4.30% Fe_2O_3 , 1.76% CaO , 1.98% K_2O , 2.10% Na_2O , 0.51% P_2O_5 , 0.43% TiO_2 , 0.05% Cr_2O_3 , y 0.18% MnO . Después de cierto tiempo (cada dos semanas en invierno y cada tres semanas en verano) el contenido completo del tanque se vacía hacia el río Villalobos. Durante el lavado de los tanques se utilizan, en promedio, $510.54 \pm 58.326 \text{ m}^3$ de agua previamente tratada, que también es desechada al río.

Los compuestos químicos y la cantidad de sólidos desechados tienen un efecto adverso en el ecosistema del río Villalobos. Muchos de los compuestos desechados contribuyen a la eutrofización del río, y de forma indirecta a la del lago de Amatitlán que es donde el río desemboca. Aparte del impacto ambiental negativo que tiene este manejo de desechos, también presenta pérdidas económicas a la empresa. La educación forma parte importante para mejorar los aspectos ambientales, por lo cual es de mucha importancia que se le agregue un aporte más enriquecedor al programa creado por EMPAGUA. Los dos aportes son: el sitio web nombrado “A Guate-Protejo” y el manual impreso. Estos ofrecen herramientas de enseñanza basadas en los aprendizajes previos importantes que giran alrededor del conocimiento, cuidado y conservación del agua en su naturaleza y en la intervención del hombre para su purificación en la tierra. Se realizaron varios análisis, que incluyeron pruebas a los lodos para determinar propiedades físicas y químicas, que deben estabilizarse hasta llegar a un pH de 12. Se determinó que el lodo, seco y estabilizado, se puede utilizar como abono, ya que es un lodo clase B. Se podría aplicar al suelo en pequeñas cantidades, para cultivos de milpa y cilantro, e incluso para la siembra de plantas ornamentales ya que el lodo provee un crecimiento mayor a las plantas en un tiempo menor.

El proceso de secado de lodos comienza por la eliminación de agua en exceso el cual se lograría por medio de una banda Intralox de largo de 8 y ancho de 2.134 metros, la cual requerirá un motor de 5 hp de potencia. Esta separará el agua en exceso y retendrá los sólidos residuales, bajando su humedad de 90 a 70%. Se evaluaron dos diferentes procesos de secado. La primera por medio de convección de aire que debido a sus altos requerimientos energéticos no lo hacen factible. El segundo por medio de un patio solar, en el cual se permitirá que los sólidos se sequen durante aproximadamente 4 días hasta obtener una humedad del 20%. El espacio necesario es de 25x25m, que está disponible en la planta. Como última etapa, se realizó la evaluación económica involucrando los costos de operación y equipos necesarios. Se logró determinar que el proceso es rentable en un tiempo de 10 años, obteniendo una TIR de 23%.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa municipal de agua EMPAGUA en la ciudad de Guatemala es responsable de tratar y proveer agua potable a casi los habitantes de la ciudad. El tratamiento de agua normalmente involucra operaciones de sedimentación, en las cuales se separan los sólidos del agua por medio de la intervención de un químico floculante. A determinado tiempo, los tanques se saturan de sólidos, por lo que son lavados utilizando una gran cantidad de agua. En la planta "Lo De Coy", dichos sólidos son desechados sin realizar acción alguna, violando directamente de la legislación ambiental, causando serios problemas de contaminación al río Villalobos y pérdidas económicas de diversas índoles para la empresa.

Para mejorar los aspectos ambientales, es importante que las personas cuenten con una buena educación que logre crear una conciencia y actuar de forma positiva. Para complementar este aspecto se desarrolló un programa con nuevas estrategias innovadoras para el programa educativo que actualmente brinda EMPAGUA a los estudiantes de colegios y visitas que llegan a la planta "Lo De Coy", desde hace más de 10 años. Se propuso demostrar la importancia del seguimiento y la innovación de dicho esfuerzo educativo ofreciendo un mayor impacto en el cuidado que los habitantes deben proveer al medio ambiente. Los dos programas desarrollados pueden encontrarse en forma impresa y digital: el sitio web nombrado "A Guate-Protejo" y el manual para la conservación del agua A Guate-Protejo.

El proyecto consistió en evaluar e implementar un proceso en el cual se recupere el agua que normalmente se desecha y se traten los sólidos para lograr obtener un valor agregado, aumentando la eficiencia y ayudar a manejar apropiadamente los desechos en la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy", comenzando por la evaluación química y física de los sólidos. También se realizaron diferentes estudios para determinar operaciones en las que es necesario implementar nuevas estrategias, brindar mantenimiento a las estructuras o cambiar la forma de trabajo. También un análisis de riesgos y peligros para conocer acerca de la seguridad industrial dentro de la planta proponiendo un programa de mejoras continuas para prevenir accidentes y cuidar la salud de los trabajadores. Estos estudios se realizaron con el fin mejorar el trabajo en la planta y reducir los impactos ambientales.

Debido a las grandes cantidades de humedad, se desarrolló un proceso de eliminación de agua en exceso con un filtro de banda, estabilización con cal, transporte por medio de un tornillo sin fin hacia la última etapa de secado que sería por medio de un patio de secado solar, para lograr un fácil manejo de los sólidos. Paralelamente se retornaría el agua separada hacia el proceso de tratamiento, para aumentar la eficiencia y reducir lo más posible el volumen de agua tratada que se pierde en el lavado, creando un impacto ambiental positivo. Los sólidos secos pueden ser utilizados como abonos en plantas ornamentales y jardines para ayudar en su crecimiento.

Para evaluar las opciones de trabajo y propuesta del manejo de los desechos, se realizó un estudio económico para conocer la cantidad de dinero perdido al momento de la limpieza de tanques. Con este estudio y la propuesta de manejo, se llevó a cabo una evaluación financiera para evaluar la rentabilidad del proyecto y conocer si este afectaría positivamente a EMPAGUA en este aspecto.

El informe cuenta con la justificación del estudio, los antecedentes en los cuales se basó la metodología y la forma en que se harían los cálculos, también se incluyen los objetivos sobre los que se trabajó y guió el trabajo. Los resultados en los que se fundamentan las decisiones tomadas, una discusión de los mismos tratando los diferentes aspectos supuestos y a considerar, seguido por las conclusiones y, por último, el apéndice donde se encuentran todos los detalles referentes a cálculos, las fichas técnicas de los equipos evaluados y propuestos a ser aplicados en la planta de tratamiento, etc.

II. MARCO TEÓRICO

Los desechos sólidos, conocidos como lodos, son materiales depositados que existen en suspensión en agua, llegando casi al 95 por ciento de concentración de agua. Estos se pueden presentar como un sólido precipitado en tratamiento de agua, residuo de la excavación de pozos, sedimentos en los vapores de una caldera, desecho de lavados o precipitados de procesos industriales. Los lodos en una planta de tratamiento de agua consisten en una suspensión de sólidos, químicos flocculantes que usualmente se encuentran como compuestos de aluminio o polímeros y material orgánico limitado. Actualmente, son unas grandes cantidades de lodo los que se desechan en una planta de tratamiento de agua. Por ejemplo, en los Estados Unidos, se crean aproximadamente 5.4 millones de toneladas de lodo seco. Las regulaciones ambientales implican un tratamiento de estos lodos, que no pueden ser únicamente desechados. Para el año 1997, las inversiones en el control y limpieza ambiental registraron un valor de \$150 billones para los Estados Unidos, dándole uso en aplicaciones como agricultura, relleno sanitario, incineración y en algunos lugares se vierte en el mar (aunque esta acción está siendo prohibida mundialmente). (Chen, 2006)

En todos los procesos de tratamiento de sólidos residuales, se debe remover el agua para poder manejar los sólidos de una forma más apropiada. Debido a las altas cantidades de humedad, el primer proceso es eliminar el exceso de agua por medio de acciones mecánicas para lograr manejar los sólidos en menor volumen y dejar la menor cantidad de humedad posible para un proceso de secado que necesita energía, por lo que se disminuyen los costos. (Utvik, 1997)

Generalmente, el secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia; es decir, separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. Generalmente no se considera como secado la eliminación mecánica de esta humedad mediante el exprimido o centrifugado. El secado es comúnmente la última parte del proceso, donde el producto con menor cantidad de humedad está listo para ser empaquetado. Económicamente este proceso ayuda en el manejo del producto, ya que la masa a transportar o manejar es menor.

Este proceso se lleva a cabo por medio de la evaporación del líquido sobre el material, utilizando una corriente de gas. En la práctica, la humedad es casi siempre agua y la corriente de gas es aire, por lo que se debe conocer las propiedades termodinámicas y de

transferencia de masa en el proceso de evaporación. Estas relaciones se pueden obtener a partir de las tablas psicométricas. Simultáneamente existe una transferencia de masa del líquido hacia el gas.

Los sólidos que se secan presentan diferentes formas (escamas, gránulos, cristales, polvos, etc.) y poseen propiedades muy diferentes, afectando en la cantidad de líquido que contendrá o será capaz de eliminar. Debe conocerse las propiedades del producto, ya que el método de vaporización se realiza en un modo térmico. Cada sólido puede requerir un tratamiento suave hasta temperaturas moderadas o puede llegar a soportar temperaturas elevadas sin descomponerse o perder sus propiedades. (McCabe, 2007)

A. Proceso de tratamiento de agua.

1. Tratamiento preliminar. El objetivo principal del tratamiento preliminar es la remoción de sólidos gruesos y otros materiales grandes que se encuentran en las aguas residuales. La remoción de estos materiales es necesaria para mejorar la operación y mantenimiento de las unidades subsecuentes de tratamiento. Entre las operaciones de tratamiento preliminar se encuentra remoción de materia por cribas, remoción de arenilla y la trituración de objetos grandes (Pescod, 1992).

2. Tratamiento primario. El tratamiento primario es el primer proceso en la planta de tratamiento de agua, se realiza para remover una fracción significativa de los sólidos suspendidos orgánicos. Estos sólidos suspendidos contribuyen a la demanda bioquímica de oxígeno del agua residual; por lo que el remover los sólidos suspendidos también reduce la DBO_5 . Este proceso es importante ya que la reducción de los sólidos suspendidos y la DBO_5 reduce la demanda de oxígeno, reduce la tasa de consumo de energía y reduce los problemas operacionales en los procesos de tratamiento biológico. El tratamiento primario también sirve para la remoción de la capa de suciedad y partículas inertes que no fueron removidas en los filtros iniciales. La capa de suciedad consiste de grasa, aceite, plásticos, trapos, pelos y otras materias flotantes. La forma principal de tratamiento primario es la sedimentación. Consecuentemente a este proceso muchas veces se le conoce como sedimentación primaria (Davis, 2010).

3. Tratamiento secundario. El objetivo del tratamiento secundario es el tratamiento adicional del efluente obtenido del tratamiento de agua primario para remover las partículas orgánicas residuales y sólidos suspendidos. En la mayoría de casos el

tratamiento secundario sigue el tratamiento primario e involucra la remoción de materia orgánica biodegradable disuelta y coloidal utilizando un proceso aeróbico. El tratamiento aerobio biológico se realiza en la presencia de oxígeno por microorganismos aerobios que metabolizan la materia orgánica presente en el agua residual, produciendo así más microorganismos y subproductos inorgánicos (principalmente CO_2 , NH_3). Los microorganismos deben ser separados del agua residual tratada para obtener un efluente secundario clarificado. Para esto se usan tanques de sedimentación similares a los tanques de sedimentación usados en el tratamiento primario. Entre los procesos de tratamiento secundario se pueden encontrar el tratamiento con lodos activados, filtros de goteo o biofiltros, diques de oxidación y contactores biológicos de rotación (RBC, por sus siglas en inglés) (Pescod, 1992).

4. Coagulación y floculación. La coagulación y floculación son componentes esenciales de sistemas convencionales de tratamiento de agua, están diseñados para: remover agentes infecciosos, remover compuestos tóxicos que han sido adsorbidos a la superficie de las partículas y remover precursores a la formación de desinfección por subproductos. El agua superficial contiene partículas orgánicas e inorgánicas. Las partículas orgánicas pueden incluir algas, bacterias, quistes de protozoos y desechos de vegetación que han llegado al agua. La erosión produce partículas inorgánicas de arcilla, arena y óxidos minerales. El agua superficial también incluye materia orgánica disuelta y en partículas, conocida como materia orgánica natural (NOM, por sus siglas en inglés), que es un producto de la descomposición y filtrado de detritus orgánico (Davis, 2010).

Las partículas encontradas en precipitados y agua superficial se clasifican como suspendidas y coloidales. Las partículas suspendidas pueden tener un diámetro de 0.1 μm hasta 100 μm . Las partículas coloidales tienen un rango de tamaño que se encuentra entre las partículas disueltas y partículas suspendidas. Se encuentran en estado sólido y pueden ser removidas del líquido utilizando medios físicos. Las partículas coloidales son demasiado pequeñas para ser removidas por sedimentación o por filtración con arena (Davis, 2010).

El objetivo de la coagulación (y subsecuentemente floculación) es convertir las partículas pequeñas en partículas más grandes llamadas flóculos, ya sea como precipitados o partículas suspendidas. Los flóculos se remueven en el proceso posterior de sedimentación. La coagulación se refiere a la adición de uno o más químicos para condicionar las partículas pequeñas para el proceso subsiguiente de floculación. La

floculación es el proceso de agrupación de las partículas desestabilizadas y productos de precipitación. La clave de una coagulación eficiente es el mezclado del agente coagulante con el agua de alimentación. La floculación eficiente requiere de mezclado para que las partículas entren en contacto unas con otras (Davis, 2010).

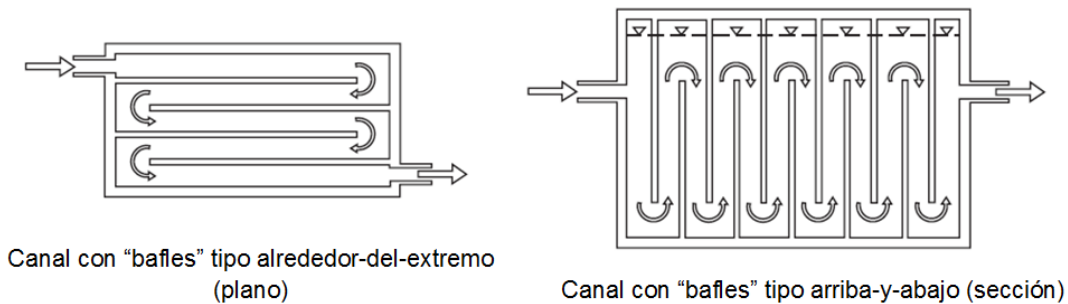
Tabla No. 1. Coagulantes inorgánicos utilizados frecuentemente.

Coagulante	Fórmula química	Peso molecular, [g/mol]	Observaciones
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	594	Contaminación de Hg puede ser un motivo de preocupación
Aluminato de Sodio	$Na_2Al_2O_4$	164	Provee alcalinidad y control de pH
Cloruro de Aluminio	$AlCl_3$	133.5	Utilizado en mezclas con polímeros
Cloruro de Polialuminio	$Al_w(OH)_x(Cl)_y(SO_4)_z$	Variable	“PACl” utilizado cuando la contaminación de Hg es motivo de preocupación
Sulfato de Polialuminio	$Al_w(OH)_x(Cl)_y(SO_4)_z$	Variable	“PAS” se utiliza cuando la contaminación de Hg es motivo de preocupación
Cloruro de Polihierro	$Fe_w(OH)_x(Cl)_y(SO_4)_z$	Variable	
Cloruro Férrico	$FeCl_3$	162.5	
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	400	

(Davis, 2010)

El mezclado es el factor físico más importante que afecta la eficiencia del coagulante, la floculación es el factor más importante para la eficiencia de la remoción de partículas. El objetivo de la floculación es hacer que las partículas entren en contacto de manera que colisionen, se peguen, y crezcan aumentando su tamaño a uno que se pueda sedimentar o filtrar. Se debe tener suficiente mezclado para que los flóculos entren en contacto. Sin embargo, demasiado mezclado puede causar la separación de las partículas, resultando en flóculos pequeños y dispersos. La floculación se logra utilizando uno de los tres siguientes sistemas: turbina vertical de mezclado, floculador de palas o una cámara con bafles (Davis, 2012).

Figura No. 1. Sistema de floculación de canal con bafles.

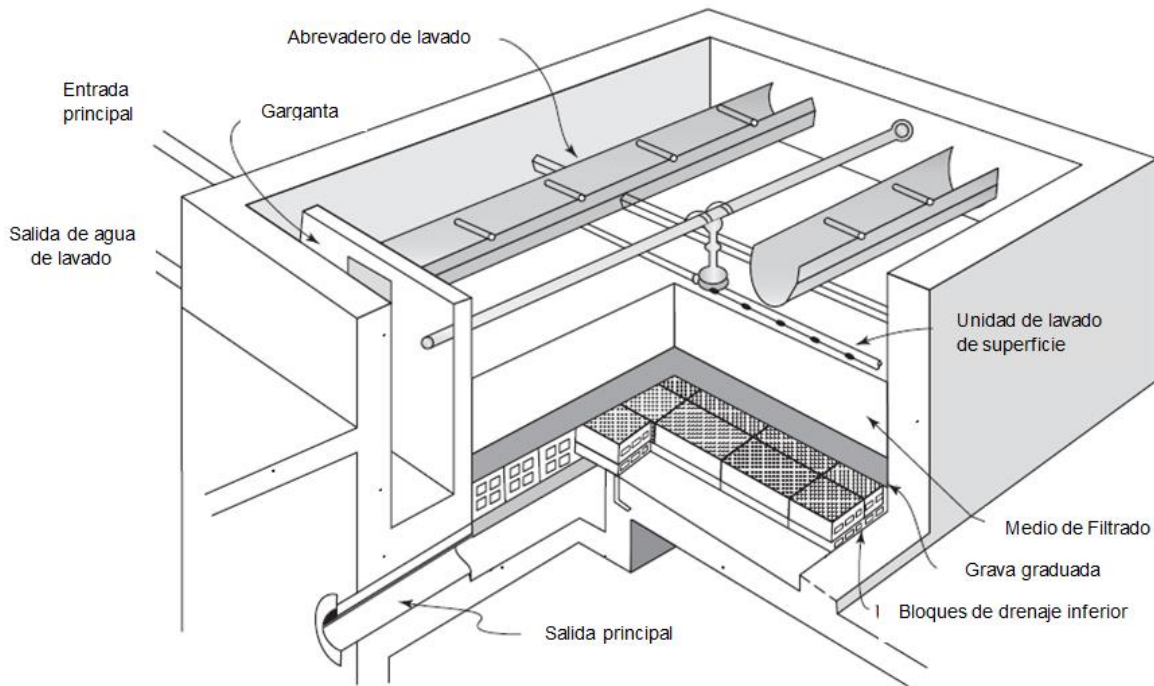


(Davis, 2010)

5. Sedimentación. Uno de los objetivos de la coagulación y floculación es aumentar el tamaño de la partícula para que se puedan sedimentar en un período de tiempo razonable. Una vez formadas las partículas y precipitados, el medio más común para removerlos del agua es por sedimentación por gravedad en un tanque de sedimentación también conocido como clarificador (Davis, 2010).

6. Filtración granular. Los niveles de turbidez del agua pueden interferir con el proceso de desinfección del agua, es por esto que es necesario reducirlo a límites en los que se pueda trabajar. Para reducir la turbidez a estos límites aceptables generalmente se utiliza un proceso de filtración. El proceso de filtración más común es la filtración granular en donde las impurezas coloidales o suspendidas se separan del agua transcurrida a través de un medio poroso. El medio generalmente consta de un lecho de arena u otros materiales poroso como carbón (llamado antracita), carbón activado o granate. Los filtros granulares generalmente se conocen como filtros de profundidad ya que las partículas en el agua penetran el filtro a la vez que se acumulan en la superficie. La parte inferior del filtro consiste de un medio de soporte y un sistema de recolección del agua. El medio de soporte está diseñado para mantener el medio de filtrado dentro del filtro y evitar que se incorpore al agua filtrada. Tradicionalmente se utilizan capas de grava graduada (tamiz grande abajo, pequeño arriba). El agua que contiene las partículas suspendidas se agrega por la parte superior del filtro. Cuando los filtros se llenan de partículas es necesario efectuar limpieza o sustitución del medio de filtrado (Davis, 2010).

Figura No. 2. Filtro de gravedad.



(Davis, 2010)

7. Desinfección. La desinfección se utiliza en el tratamiento de agua para reducir los Patógenos a un nivel aceptable. La desinfección debe destruir tres categorías de patógenos entéricos para ser potable: bacterias, virus y quistes de amebas. El cloro es el químico desinfectante utilizado con mayor frecuencia. El término cloración se puede utilizar como sinónimo de la desinfección. El cloro se puede utilizar en diversas presentaciones tales como, un elemento (Cl_2), hipoclorito de sodio (NaOCl), o hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] (Davis, 2010).

B. Sólidos residuales.

El agua es uno de los recursos más útiles e importantes de la vida. Cuando el agua es tratada, ya sea para consumo posterior o para regresarla al medio ambiente, se produce un semisólido rico en nutrientes que se conocen como "lodos residuales". Típicamente contienen entre 0.25 a 7% en masa de sólidos y cuando se les da el tratamiento adecuado, se obtiene un producto resultante que se conocen como biosólidos. Los biosólidos pueden tener diferentes usos dependiendo de su composición final. La cantidad de lodos producidos en una planta de tratamiento de agua es aproximadamente el 1% de la cantidad de agua tratada. El tratamiento de agua es un proceso que requiere poco

tiempo, mientras que el tratamiento de lodos es más extenso. Es por esto que los costos de tratamiento de lodos son elevados (Turovskiy, 2006).

El agua a ser tratada no se genera únicamente del uso doméstico del agua, sino también de establecimientos comerciales e industrias. Es por esto que la caracterización del agua puede variar significativamente dependiendo de su fuente de origen. El agua es tratada usando metodologías distintas, las cuales pueden ser mecánicas, biológicas, fisicoquímicas, entre otras con la finalidad de remover contaminantes orgánicos e inorgánicos para cumplir los niveles requeridos para el agua final; es por esto que los lodos residuales producidos varían en cantidad y características de una planta a otra (Turovskiy, 2006).

1. Tipos de lodos. Los tipos de lodos y otros sólidos como los que se obtienen del uso de un filtro inicial, polvos y la capa de suciedad que se obtiene arriba del agua, varían según el tipo de planta de tratamiento y su modo de operación. Los lodos que se obtienen del tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar como primarios, secundarios (también llamados biológicos) y químicos. Los lodos contienen sólidos asentables como materia fecal, fibras, cieno desecho de comidas, floculantes biológicos, compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, incluyendo metales pesados y de rastro. Los lodos son lodos crudos cuando no se tratan biológica o químicamente para la reducción de sólidos volátiles o patógenos. A continuación se presenta una descripción breve de los diferentes tipos de lodo según su clasificación (Turovskiy, 2006).

a. Lodos primarios: La mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan los procesos físicos de sedimentación primaria para remover sólidos disueltos del agua de alimentación. Comparado a los lodos biológicos y químicos, los lodos primarios se pueden secar de manera más rápida ya que están compuestos de partículas discretas y escombros, producen una torta más seca y mejor captación de sólidos. Sin embargo, los lodos primarios son altamente putrescibles y generan un olor desagradable si son almacenados sin tratamiento previo (Turovskiy, 2006).

b. Lodos secundarios: Son producidos por tratamientos biológicos como lodos activados, bioreactores de membrana, filtros de escurrimiento y contactores rotatorios biológicos. Las plantas con sedimentación primaria normalmente producen un lodo biológico puro como resultado a que las bacterias se consumen los orgánicos solubles e insolubles en sistemas de tratamiento secundarios. Los lodos biológicos son más difíciles de secar debido a la ligereza de los sólidos biológicos suspendidos en este tipo de lodo (Turovskiy, 2006).

c. Lodos químicos: Los químicos se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales para precipitar y remover sustancias difíciles de remover y para ayudar en la floculación de los sólidos disueltos; en estos casos se forman lodos químicos. En algunas plantas de tratamiento se le agregan químicos al proceso biológico lo que causa que los precipitados químicos se mezclen con los lodos biológicos. Algunos químicos pueden producir efectos secundarios no deseados como disminución del pH y alcalinidad del agua residual, lo que puede requerir químicos adicionales para ajustar dichos parámetros (Turovskiy, 2006).

2. Residuos sólidos: Además de los lodos se pueden encontrar otros tres tipos de residuos que se deben de remover durante el proceso de tratamiento de agua, estos son: sólidos obtenidos de los filtros o mesh iniciales, arenilla y espuma. Las cantidades son significativamente inferiores a las de los lodos en peso y en volumen, pero su remoción y desecho son de suma importancia (Turovskiy, 2006).

a. Sólidos filtrados: incluye desechos relativamente grandes como: trapos, plásticos, latas, hojas y artículos similares que son removidos por filtros de barras. Las cantidades de sólidos filtrados pueden variar de 4 a 40 mL/m³ de agua residual. Los sólidos filtrados generalmente son llevados a basureros comunales (Turovskiy, 2006).

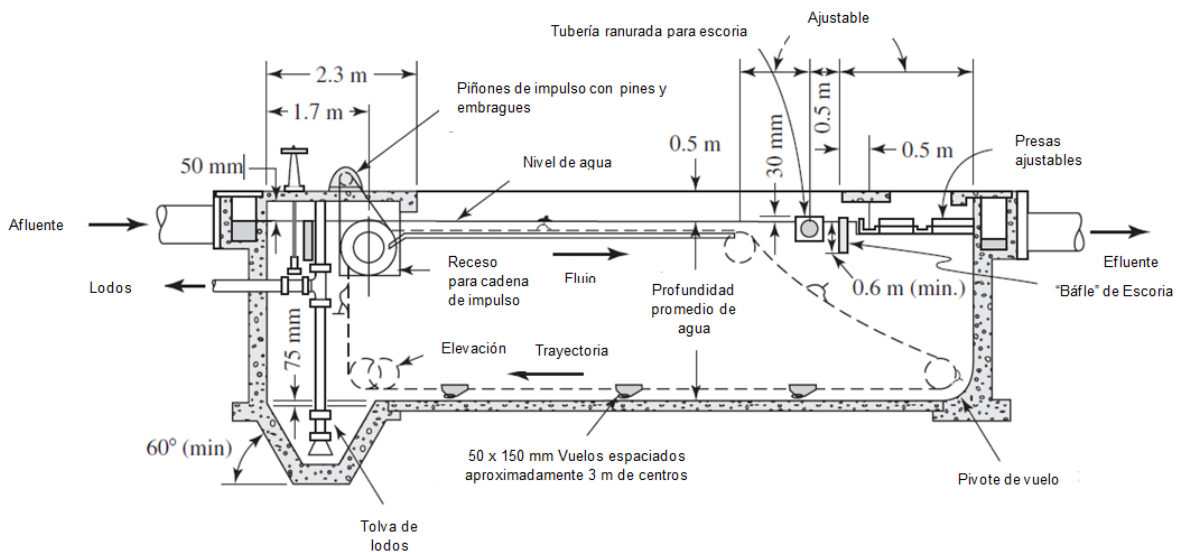
b. Arenilla: consiste de materiales pesados y gruesos como arena, cenizas y materia inorgánica similar. Puede contener materiales orgánicos también como maíz, semillas y moleduras de café. Si no se remueve del agua puede causar desgaste de los impulsores de las bombas y tuberías. En la mayoría de plantas de tratamiento la arenilla se remueve en los sedimentadores primarios (Turovskiy, 2006).

c. Espuma: es el producto que es removido de los clarificadores. La espuma primaria consiste de grasas, aceites y escombros flotantes como productos de plástico y hules. Se puede acumular en las tuberías y restringir el flujo, aumentando así los costos de bombeo y puede obstruir instrumentos de medición. La espuma secundaria tiende a ser principalmente lodo activado flotante o biofilm, dependiendo del tipo de tratamiento secundario que se utilice. Se puede desechar bombeándolo a los digestores de lodos, concentrándolo y luego incinerándolo con otros residuos o secándolo y utilizándolo para rellenos sanitarios (Turovskiy, 2006).

C. Tanques de sedimentación.

Los tanques de sedimentación rectangulares son diseñados para obtener flujo longitudinal. El flujo entra y sale del tanque por los extremos. Entra al tanque por uno o más puertos de entrada. Inmediatamente se coloca un baffle corriente debajo de la entrada para disipar la velocidad del puerto de entrada y distribuir el flujo y los sólidos de manera equitativa en la sección transversal del tanque. Típicamente se utilizan removedores de lodo del tipo de cadena y arrastre. El lodo es llevado a una tolva. En tanques grande la tolva será una depresión transversal con un colector cruzado que acarrea el lodo a un lado del tanque donde hay un sistema de bombeo con tuberías que remueve el lodo (Davis, 2010).

Figura No. 3. Diagrama de un tanque de sedimentación primaria.



(Davis, 2010)

Con la finalidad de tener superfluidez se recomienda tener cuatro tanques de sedimentación rectangulares en paralelo. Esto brinda la máxima flexibilidad de operación en un rango amplio de velocidades de flujo con la posibilidad que una unidad esté fuera de servicio a la tasa de flujo máxima. El arreglo preferido es de una conexión directa entre el canal de floculación y el tanque de sedimentación. Entre los dos tanques se utiliza una pared difusora, la cual contiene agujeros. Cuando el agua floculada se alimenta al tanque de sedimentación, la velocidad comúnmente utilizada se encuentra en un rango de 0.15 a 0.6 m/s. La velocidad se debe reducir y el flujo distribuido de manera uniforme en el tanque. La pared difusora se coloca generalmente a dos metros de la tubería de entrada.

Los agujeros tienen aproximadamente 0.10 a 0.20 m de diámetro y están separados uno del otro entre 0.25 y 0.60 m (Davis, 2010).

D. Composición general de sólidos residuales.

Muchos de los constituyentes químicos, incluyendo nutrientes, son importantes para considerar el uso final de los lodos procesados y del líquido separado durante el proceso. La medida de pH, alcalinidad y contenido de ácidos orgánicos es importante en el control del proceso de la digestión anaerobia. El contenido de metales pesados, pesticidas e hidrocarburos tienen que determinarse cuando se considera la incineración y la aplicación en suelos. El contenido de energía en lodos es importante si se contempla un proceso de reducción térmica (Eddy, 2002).

Tabla No. 2 Composición química y propiedades de lodos sin tratar y digeridos.

Concepto.	Lodos primarios sin tratar.		Lodos primarios digeridos.		Lodos secundarios crudos.
	Rango	Típico	Rango	Típico	Rango
Sólidos totales secos (ST), %	2.0-8.0	5.0	6.0-12.0	10.0	0.83-1.16
Sólidos volátiles (% ST)	60-80	65	30-60	40	59-88
Nitrógeno (N, % ST)	1.5-4	2.5	1.6-6.0	3.0	2.4-5.0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % ST)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5	2.8-11.0
Potasio (K ₂ O % ST)	0-1	0.4	0.0-3.0	1.0	0.5-0.7
Hierro (no como sulfato=)	2.0-4.0	2.5	3.0-8.0	4.0	-
Silicio (SiO ₂ , % ST)	15.0-20.0	6.0	6.0	10.0-20.0	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0	6.5-8.0
Alcalinidad (mg/L como CaCO ₃)	500-1,500	600	2,500-3,500	3,000	580-1,100
Ácidos orgánicos (mg/L como HAc)	200-2,000	500	100-600	200	1,100-1,700

(Metcalf & Eddy, 2002)

E. Constituyentes específicos.

Las características de los lodos que afectan su aptitud para la aplicación en suelos y usos benéficos, incluyen contenido orgánico, nutrientes, patógenos, metales pesados y orgánicos tóxicos. El valor fertilizante del lodo se basa, principalmente, en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. La Tabla No. 3 muestra las concentraciones típicas de estos elementos en un lodo estabilizado y los compara con los de un fertilizante comercial.

Tabla No. 3. Concentraciones típicas de elementos en un lodo estabilizado y comparación con un fertilizante comercial.

Producto	Nutrientes %		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizante comercial	5	10	10
Lodos biológicos estabilizados	3.3	2.3	0.3

(Metcalf & Eddy, 2002)

Los elementos traza en los lodos son aquellos elementos químicos que, en muy pequeñas cantidades, son esenciales para plantas y animales; algunos de dichos elementos, cuando están presentes en concentraciones mayores, se vuelen perjudiciales. Tal es el caso de los metales pesados, por ello, el contenido de estos últimos puede limitar la aplicación de lodos en el suelo. Las concentraciones de metales pesados en un lodo digerido proveniente de una planta típica de aguas municipales se presentan en la Tabla No. 4 (Eddy, 2002).

Tabla No. 4. Concentraciones de metales pesados en lodo digerido proveniente de una planta típica de aguas municipales.

Metal	Sólidos secos, mg/kg	
	Intervalo	Media
Arsénico	1.1-230	10
Cadmio	1-3,410	10
Cromo	10-99,000	500
Cobalto	11.3-2,490	30
Cobre	84-17,000	800
Estaño	2.6-329	14
Hierro	1,000-154,000	17,000
Plomo	16-26,000	500

(Metcalf & Eddy, 2002)

Tabla No. 5. Concentraciones de metales pesados en lodo digerido proveniente de una planta típica de aguas municipales (Cont.).

Metal	Sólidos secos, mg/kg	
	Intervalo	Media
Manganeso	32-9,870	260
Mercurio	0.6-54	6
Molibdeno	0.1-214	4
Níquel	2-5,300	80
Selenio	1.7-17.2	5
Zinc	101-49,000	1,700

(Metcalf & Eddy, 2002)

F. Características físicas.

Los lodos de purga son una mezcla de sólidos sedimentables y agua, las concentraciones son variables dependiendo del tipo de lodo (primario, secundario, mixto o químico); la Tabla No. 6. presenta las concentraciones típicas de diferentes tipos de lodos y sus respectivos intervalos.

Tabla No. 6. Concentraciones típicas de diferentes tipos de lodos.

Tipo de lodo	Concentración de sólidos % de sólidos (peso seco)	
	Intervalo	Concentración típica
• Primario.	5.0-9.0	6.0
• Primario + purga de lodo activado.	3.0-8.0	4.0
• Primario + purga de filtro percolador.	4.0-9.0	5.0
• Primario avanzado (Con cloruro férrico).	0.5-3.0	2.0
• Primario avanzado (Con cal en baja concentración)	2.0-8.0	4.0
• Primario avanzado (Con cal en alta concentración)	4.0-10.0	8.0
• Lodo activado convencional (Después de sedimentador primario).	0.5-1.5	0.8
• Filtro percolador (Después del sedimentador primario)	1.0-3.0	1.5
• Disco biológico (Después de sedimentación primaria)	1.0-3.0	1.5

(Metcalf & Eddy, 2002)

El contenido de agua es muy grande, por lo tanto es necesario concentrar más los sólidos antes de estabilizarlos; para ello se aplica el espesamiento de lodos (Eddy, 2002).

G. Equipo para eliminación de exceso de humedad.

Este proceso es también conocido como el engrosamiento de lodo. El objetivo es concentrar el lodo y eliminar la mayor cantidad de agua para que sea económicamente posible manejar y tratar para darle el uso final. Existen procesos mecánicos y térmicos para lograr este proceso. Los diferentes procesos existentes son por medio de un filtro de banda prensado, filtros de tambor (tecnología de vacío), filtros a presión, centrifugación y separación propiamente mecánica (Cheremisinoff, 2002).

El filtrado por medio de un filtro de prensa consiste en una banda perforada que actúa como una banda transportadora. Las bandas están soportadas por una estructura que le permite el movimiento y soporta para que se dé en la dirección necesaria. Muchos proveedores cuentan con filtros horizontales en los cuales se puede contar con una inclinación no mayor a 15 grados, en donde la diferencia radica en los materiales y la apertura permitida por el filtro. Dependiendo de las características del material, se puede aplicar vacío a la operación (Perry, 1997).

El método para alimentar, limpiar, eliminar el agua en exceso y descargar es esencialmente el mismo para todos los filtros de banda. El sólido húmedo es cargado en una punta y si es necesario se puede aplicar un spray de agua o solvente durante el recorrido para terminar de eliminar las impurezas. El sólido retenido es descargado al final de la polea por medio de una superficie de drenaje, donde se puede aplicar un raspador en caso de que los materiales sean pegajosos. La duración del proceso puede ser controlado con el filtro a una velocidad de hasta 1m/s (Perry, 1997).

Algunas de las ventajas es el control preciso de la separación incluyendo la facilidad de realizar un lavado en contra corriente para lavar la torta de sólido. Una descarga efectiva también se puede lograr en estos sistemas. La desventaja mayor es que por lo menos la mitad del medio de filtración puede ser perdido en giro final. Esto puede ser controlado por un raspador que retenga los sólidos y no permita que se regresen al medio filtrado (Perry, 1997).

Debido a que se pueden realizar los cálculos de requerimiento energético de igual forma a una banda transportadora, los requerimientos energéticos incluyen un número de variables que deben ser estimadas por medio de fórmulas empíricas como las siguientes.

- Potencia necesaria para accionar la banda vacía:

$$hp = \frac{F(L + L_o)(0.03WS)}{990}$$

Ecuación 1 (Walas, 1990)

F = factor de fricción. 0.05 para uniones normales y 0.03 para uniones antifricción.

L = Largo de la banda (ft)

L_o = 100 para uniones simples y 150 para uniones anti – fricción.

S = Velocidad de la banda

W = masa (lb) de las partes móviles incluyendo peso de la banda

- Potencia necesaria para mover material (excluyendo banda) transportado horizontalmente.

$$hp = \frac{F(L + L_o)T}{990}$$

Ecuación 2 (Walas, 1990)

$$T = \text{Material} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right)$$

- Potencia necesaria para elevar el material (excluyendo la banda)

$$hp = \frac{T\Delta Z}{990}$$

Ecuación 3 (Walas, 1990)

ΔZ = Elevación (ft)

La potencia total será la suma de todas las potencias determinadas.

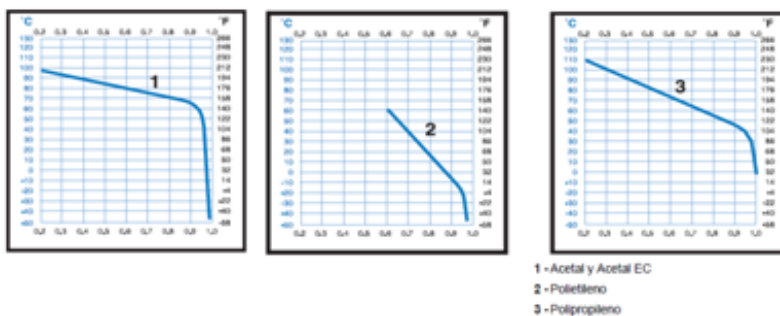
1. Propiedades de los materiales:

a. Factores de fricción: Determinan la cantidad de arrastre resultante del desplazamiento de la banda en la estructura del transportador o por el deslizamiento de la banda bajo el producto transportado. Los factores de fricción más bajos dan como resultado una menor presión en las líneas y por lo tanto se produce menos daño en el producto, una menor tracción de banda y menores requerimientos de potencia. Estos factores se basan en sistemas limpios (Intralox).

- b. Temperatura: Afecta las cualidades físicas de los materiales termoplásticos.

Por lo general, a medida que la temperatura de funcionamiento aumenta, la resistencia de la banda se debilita, pero su superficie se endurece y se hace más resistente a los impactos. Por el otro lado, en aplicaciones de menor temperatura, la banda se torna más rígida y es más quebradiza. La curva de factor de temperatura muestra la forma en la que la temperatura afecta a la resistencia de la banda. En la siguiente imagen (Figura No.4) se muestran las para diferentes materiales estándar.

Figura No. 4. Factor de temperatura, materiales estándar.



(Intralox: Manual de ingeniería de las bandas transportadoras)

c. Fricción: Siempre existe un esfuerzo entre los materiales y los productos a ingresar. Los valores de fricción dependen en gran medida de las condiciones ambientales. La Figura No. 5 muestra los valores de fricción entre el producto y la banda y valores de fricción entre la guía de desgaste y la banda material. Estos sólo deben utilizarse en entornos limpios o diseño de bandas.

Figura No. 5 Tablas del factor de fricción.

Factores de fricción ^a	F _w Fricción entre la guía de desgaste y la banda Material de la guía de desgaste				F _p Fricción entre el producto y la banda Material del producto (en condiciones de acumulación) ^b				
	UHMW HÚMEDO (SECO)	HEPE HÚMEDO (SECO)	NLAIRON HÚMEDO (SECO)	ACERO(CVS)SS HÚMEDO (SECO)	VIDRO HÚMEDO (SECO)	ACERO HÚMEDO (SECO)	PLÁSTICO HÚMEDO (SECO)	CARTÓN HÚMEDO (SECO)	ALUMINO HÚMEDO (SECO)
Polipropileno (S)	0,11 (0,13)	0,09 (0,11)	0,24 (0,25)	0,26 (0,26)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
Polipropileno (A)	NR	NR	0,29 (0,30)	0,31 (0,31)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
PP compuesto (S)	0,30 (0,35)	—	—	0,31 (0,37)	0,24 (0,23)	0,36 (0,32)	0,17 (0,21)	—	0,55 (0,45)
Polietileno ^c (S)	0,24 (0,32)	NR	0,14 (0,13)	0,14 (0,15)	0,08 (0,09)	0,10 (0,13)	0,08 (0,08)	— (0,15)	0,20 (0,24)
PP detectable	0,24 (0,27)	NR	0,26 (0,29)	0,26 (0,30)	0,18 (0,20)	0,26 (0,30)	0,26 (0,29)	— (0,37)	0,40 (0,40)
Niñón detectable	(S) — (0,19)	— (0,11)	— (0,24)	— (0,31)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Máx. Temp	(A) — (0,32)	— (0,22)	— (0,38)	— (0,30)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Acetal (S)	0,10 (0,10)	0,09 (0,08)	0,13 (0,15)	0,18 (0,19)	0,13 (0,14)	0,13 (0,13)	0,13 (0,16)	— (0,18)	0,33 (0,27)
Acetal EC (S)	0,10 (0,10)	0,09 (0,08)	0,13 (0,15)	0,18 (0,19)	0,13 (0,14)	0,19 (0,20)	0,13 (0,16)	— (0,18)	0,33 (0,27)
FR-TPES (S)	— (0,13)	—	—	—	—	— (0,18)	—	—	— (0,30)
Niñón HR	(S) — (0,18)	— (0,13)	— (0,17)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,19)	— (0,26)
72 °F (22 °C)	(A) — (0,30)	— (0,25)	— (0,26)	— (0,26)	— (0,16)	— (0,27)	— (0,16)	— (0,19)	— (0,26)
Niñón HR	(S) NR	NR	— (0,18)	— (0,27)	— (0,19)	— (0,27)	— (0,47)	— (0,23)	— (0,25)
Máx. Temp	(A) NR	NR	— (0,32)	— (0,39)	— (0,19)	— (0,27)	— (0,47)	— (0,23)	— (0,25)
Niñón AR	(S) — (0,19)	— (0,11)	— (0,24)	— (0,31)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
Máx. Temp	(A) — (0,32)	— (0,22)	— (0,38)	— (0,30)	—	—	—	— (0,22)	— (0,31)
PP resistente a rayos UV	0,11 (0,13)	0,09 (0,11)	0,24 (0,25)	0,26 (0,26)	0,18 (0,19)	0,26 (0,32)	0,11 (0,17)	— (0,21)	0,40 (0,40)
PVDF	-	-	-	0,20 (0,20)	-	0,20 (0,20)	-	-	0,15 (0,15)
Alto impacto	0,23 (0,21)	-	-	0,31 (0,33)	-	— (0,84)	-	-	-

(S) = en superficies lisas y limpias. (A) = condiciones abrasivas y sucias. NR = no se recomienda.

- Los valores de los factores de fricción dependen en gran medida de las condiciones ambientales. Un valor bajo en el intervalo de factores de fricción es un factor de fricción derivado experimentalmente para nuevas bandas en guías de desgaste nuevas. Solo se debe utilizar este valor en los entornos más limpios o en lugares donde haya agua u otro agente lubricante. La mayoría de las aplicaciones deben ajustarse basándose en las condiciones ambientales del transportador.
- Los factores de fricción para la fricción entre el producto y la banda solo son válidos para las bandas Flat Top, Perforated Flat Top, Mesh Top, Flush Grid y Raised Rib.
- No se recomienda el uso de polietileno para el manejo de envases.

(Intralox: Manual de ingeniería de las bandas transportadoras)

2. Instrucciones para la selección de banda. Para determinar la banda adecuada para la aplicación se debe conocer su carga en funcionamiento en comparación para la aplicación se debe conocer su carga en funcionamiento en comparación con su resistencia en dicho funcionamiento. Los siguientes pasos y cálculos son necesarios para poder determinar esta comparación.

Paso 1: Calcular la carga de tensión de la banda o la tracción de la banda BP.

La carga de torsión se puede determinar con la siguiente fórmula

$$BP = [(M + 2W) * F_w + M_p] * L + (M * H)$$

Ecuación 4 (Intralox, 2012)

Donde,

$$M = \text{Carga del producto} \left(\frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$W = \text{Peso de la banda} \left(\frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$L = \text{Longitud del transportador (m)}$$

$$H = \text{Cambio de altura del transportador (m)}$$

$$F_w = \text{Coeficiente de fricción entre la guía de desgaste y la banda}$$

$$M_p = M * (F_p * \% \text{acumulación en la banda}), \text{carga debida a la acumulación de producto}$$

El valor del peso de la banda se encuentra dentro de los datos de la banda y depende de la serie que se elija. Los valores de los coeficientes F_w y F_p se encuentran en la Figura No. 4. Si no se presenta acumulación de producto, el valor de M_p debe ignorarse.

Paso 2: Ajustar el BP calculado a las condiciones específicas de servicio.

Ya que la banda puede experimentar diversas condiciones, el valor se debe ajustar por medio del factor de servicio.

Figura No. 6 Determinación de factor de servicio.

FACTOR DE SERVICIO (SF)	
Arranques sin carga, con carga aplicada gradualmente.	1,0
Arranques frecuentes bajo carga (más de una vez por hora)	AGREGAR 0,2
A velocidades mayores de 100 FPM (pies por minuto) (30 metros/min)	AGREGAR 0,2
Transportadores ascendentes	AGREGAR 0,4
Transportadores por empuje	AGREGAR 0,2
	TOTAL
<small>Nota: Para velocidades superiores a los 50 pies/min (15 m/min) en transportadores que arrancan con acumulación de producto, se recomienda usar motores de arranque suave.</small>	

(Intralox: Manual de ingeniería de las bandas transportadoras)

$$ABP = BP * SF$$

Ecuación 5 (Intralox, 2012)

$$ABP = \text{fuerza de tracción ajustada} \left(\frac{Kg}{m} \right)$$

Paso 3: Calcular la resistencia permitida de la banda.

La resistencia de la banda puede, debido a las condiciones específicas de funcionamiento, ser menor que la resistencia nominal de la banda, por lo tanto ABS debe ser calculado mediante la formula

$$ABS = CF * T * S$$

Ecuación 6 (Intralox, 2012)

$CF =$ resistencia de la banda

$T =$ Factor de temperatura

$S =$ Factor de resistencia

El valor de resistencia de la banda y el factor de resistencia se obtienen a partir de los datos de la banda para la serie seleccionada. El factor de temperatura se determina a partir de la Figura No. no. 3, para el material seleccionado. El Factor de resistencia se encuentra en la intersección de la relación velocidad-longitud y la línea del engranaje apropiada. Para obtener la relación velocidad-longitud, se debe dividir la velocidad del a banda (pies/min) entre la distancia (pies) entre ejes. El factor de resistencia ajusta el índice de la banda para compensar el desgaste causado por la combinación de alta velocidad, transportadores cortos y engranajes pequeños

Paso 4: Comparar ABP con ABS

Para comprobar si la banda es lo suficientemente fuerte para la aplicación, el ABS debe ser mayor que el BP. Si esto no se da, y se pueden cambiar algunos parámetros de aplicación (por ejemplo, la distribución de la carga de producto o velocidad de la banda), la ABP recalculada puede ser aceptable.

Paso 5: Calcular la separación máxima entre los engranajes del eje motriz

El porcentaje de la resistencia permitida de la banda utilizada, se determina mediante la siguiente fórmula

$$ABSU = \left(\frac{ABP}{ABS} \right) * 100\%$$

Ecuación 7 (Intralox, 2012)

Usando la ABSU, se obtiene la separación máxima entre los engranajes en los datos de engranaje de la serie elegida. La separación entre los engranajes en ejes de conducción puede ser, a veces, mayor que el de los ejes motrices, pero nunca debe exceder los 152mm en ninguna serie. Si el valor de ABSU está por encima del 75 por ciento, se debe poner en contacto con el soporte técnico de intralox para verificar los resultados.

Paso 6: Confirmación de la resistencia del eje motriz

Los ejes motrices deben ser lo suficientemente rígidos para resistir la flexión o deflexión excesivas, originadas por la tracción de la banda y suficientemente fuertes para transmitir el par de torsión requerido. Por lo tanto, se deben determinar la deflexión del eje motriz y el par de torsión para asegurar la selección apropiada del eje.

Se debe seleccionar un tamaño de eje adecuado para el engranaje elegido, usando la información de datos de engranajes para la serie de banda elegida.

El eje se flexiona bajo las cargas combinadas de la tracción ajustada de la banda y su propio peso. La carga total del eje, w , se obtiene por la siguiente fórmula

$$w = (ABP + Q) * B$$

Ecuación 8 (Intralox, 2012)

$$Q = \text{Peso del eje} \left(\frac{Kg}{m} \right)$$

$$B = \text{Ancho de la banda (m)}$$

El ancho de la banda debe ser elegido para satisfacer las necesidades del proceso y el peso del eje se puede encontrar en la Figura No.6 datos del eje.

Figura No. 7 Datos del eje.

EJE B DATOS	(Q) PESO DEL EJE, lb/pie (kg/m)			I MOMENTO DE INERCI pulg. ⁴ (mm ⁴)
	ALUMINIO	ACERO AL CARBONO	ACERO INOXIDABLE	
5/8 PULG. CUADRADAS	0,46	1,33 ^a	1,33 ^a	0,013
1 PULG. CUADRADA	1,17 ^a	3,40 ^a	3,40 ^a	0,083
1,5 PULG. CUADRADAS	2,64 ^a	7,65 ^a	7,65 ^a	0,42
2,5 PULG. CUADRADAS	7,34	21,25 ^a	21,25 ^a	3,25
3,5 PULG. CUADRADAS	14,39	41,60 ^a	41,60	12,50
25 mm CUADRADOS	1,699	4,920 ^b	4,920 ^b	(32,550)
40 mm CUADRADOS	(4,335)	(12,55) ^b	(12,55) ^b	(213.300)
60 mm CUADRADOS	(10,05)	(29,11) ^b	(29,11) ^b	(1.080.000)
65 mm CUADRADOS	11,79	(34,16) ^b	(34,16) ^b	1.487.600
E MÓDULO DE ELASTICIDAD libras/pulg. ² (kg/mm ²)	10.000.000 (7.000)	30.000.000 (21.100)	28.000.000 (19.700)	

- Intralox USA puede suministrar ejes cuadrados mecanizados según las especificaciones en los tamaños siguientes y materiales como acero al carbono (C-1018), acero inoxidable (303 y 316) y aluminio (6061-T6).
- Intralox Europe ofrece ejes cuadrados en los siguientes tamaños y fabricados en acero al carbono (KG-37) y acero inoxidable (304).

(Intralox: Manual de ingeniería de las bandas transportadoras)

En ejes soportados por dos cojinetes, la deflexión, D , se calcula con la siguiente fórmula

$$D = \frac{5}{384} * \frac{w * Ls^3}{E * I}$$

Ecuación 9 (Intralox, 2012)

$Ls =$ Largo del eje entre cojinetes (mm)

$E =$ Módulo de elasticidad

$I =$ Momento de inercia ($Kg * mm$)

Si la deflexión calculada es menor que el máximo recomendado de 2.6 mm para transportadores estándar o 5.6 mm para unidades bidireccionales, calcular el par de torsión requerido. DE lo contrario, seleccionar un eje más grande, un material más fuerte o una separación más corta entre cojinetes y calcular de nuevo la deflexión.

El par de torsión a transmitirse se determina con la fórmula

$$T_o = ABP * B * \frac{PD}{2}$$

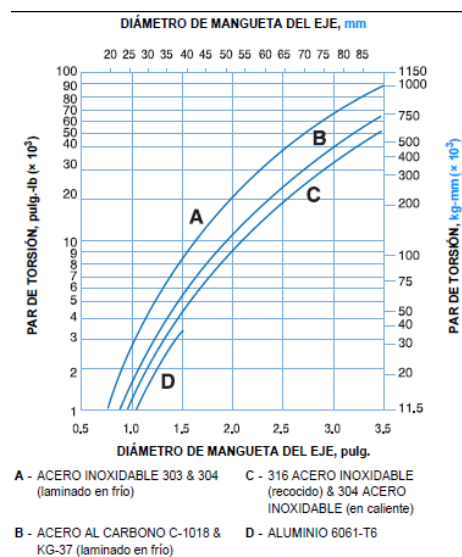
Ecuación 10 (Intralox, 2012)

$PD =$ Diámetro de paso del engranaje

El valor de PD se determina según los datos del engranaje para la serie seleccionada.

El valor de T_o se compara con la Tabla No. 7 para las dimensiones de los ejes mostrados. Usando un diámetro de mangueta que permita que ésta pueda ser torneada sobre el eje seleccionado, determinar el par de torsión máximo recomendado. Este valor debe exceder T_o . De lo contrario, se debe elegir un material más fuerte o un eje más grande.

Figura No. 8 Par de torsión máximo recomendado en el eje motriz.



(Intralox: Manual de ingeniería de las bandas transportadoras)

Paso 7: Determinación de la potencia necesaria para accionar la banda

La potencia necesaria en vatios, se determina con la siguiente fórmula

$$Potencia\ banda = \frac{ABP * B * V}{6.12}$$

Ecuación 11 (Intralox, 2012)

Para obtener la potencia requerida por el motor, se debe añadir a la potencia calculada, las pérdidas de potencia previstas en el tren motriz y el motor.

Una vez determinada la conveniencia de esta banda, el espacio entre los engranajes, el tamaño del eje motriz y los requerimientos de potencia, puede seleccionar los accesorios y diseñar el transportador.

H. Estabilización de los sólidos residuales.

El término estabilización puede considerarse como el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo no dañino para la salud pública y el medio ambiente. El mal olor, la proliferación de patógenos y la putrefacción tienen lugar cuando se presentan microorganismos en el lodo establecidos como materia orgánica, es por ello que el fin de la estabilización de lodos consiste en cuatro objetivos principales:

- Reducir la presencia de microorganismos patógenos.
- Eliminar el mal olor.
- Inhibir, reducir y eliminar su potencial de putrefacción.
- Reducir los efectos de compuestos orgánicos.

El éxito de estos procesos está relacionado con su efecto sobre la fracción volátil u orgánica de los lodos. Para cumplir con estos objetivos se pueden seguir varias rutas, la primera consiste en la reducción biológica o la oxidación química del contenido de materia volátil, se pueden agregar agentes químicos a fin de imponer condiciones favorables para el desarrollo de microorganismo y aplicar calor con el objeto de desinfectar o esterilizar los lodos. Bajo estos principios se rigen los procesos de estabilización.

Las tecnologías más utilizadas para la estabilización de los lodos son:

- Estabilización con cal.
- Tratamiento térmico.
- Digestión aerobia.
- Digestión anaerobia.

Un lodo puede considerarse estabilizado si:

- ha tenido una reducción del 38%, o más, de su contenido de sólidos volátiles, o
- ha tenido una reducción del 25% de su contenido de humedad (75%), o

- ha tenido un tiempo de permanencia de o más días en una unidad de oxidación biológica, o
- tiene un pH mayor o igual a 12, esto puede lograrse mediante la adición de materiales alcalinos (Señoret, 2010).

**Se puede considerar un lodo estabilizado si cumple con uno de estos requisitos.

1. Clasificación de los lodos estabilizados:

a. Lodos clase A: Son aquellos que pueden ser aplicados a los suelos sin inconvenientes, porque no hay riesgo para la salud humana, animal ni vegetal.

Debe cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) No más de 1,000 coliformes fecales por gramo ni más de 3 Salmonella por 4 gramos.
- 2) Carecer de huevos de helmintos viables en 4 gramos.

Esto se logra mediante los siguientes procesos:

- a) Compostaje: las pilas de acumulación deben mantenerse a $>55^{\circ}\text{C}$ por 3 – 15 días.
- b) Secado térmico: Aplicación de calor por gases a $>80^{\circ}\text{C}$ con reducción de humedad al 10%
- c) Tratamiento con calor: los lodos en estado líquido se hierven a 180°C por 30 minutos.
- d) Digestión aerobia termófila: los lodos líquidos se mantienen a 55 – 60 $^{\circ}\text{C}$ por 10 días en condiciones aeróbicas.
- e) Pasteurización: Los lodos se calienta a $>70^{\circ}\text{C}$ durante >30 minutos.
- f) Irradiación: Pueden ser con haces de electrones o rayos gammas.
- g) Alcalinización: El pH del lodo se eleva a 12 con una temperatura de $>52^{\circ}\text{C}$ durante 3 días. Luego debe secarse hasta una humedad del 50%

El tratamiento para eliminar los huevos de helmintos también permite reducir significativamente el número de coliformes fecales y Salmonella.

***a) y b) son para el tratamiento de huevos de helmintos.*

Además, los lodos estabilizados clase A o B deben tener los siguientes límites de metales pesados:

- Arsénico < 20 mg/kg.
- Cadmio < 8 mg/kg
- Cobre < 1,000 mg/kg
- Mercurio < 4 -10 mg/kg
- Níquel < 80 mg/kg
- Plomo < 100 – 300 mg/kg
- Selenio < 20 – 50 mg/kg
- Cinc < 2,000 mg/kg (CAPAC, 2010).

b. Lodos clase B: Son aquellos cuya aplicación dependerá de la localización y tipo de suelos y cultivos.

Debe cumplir con el siguiente requisito:

- 1) No más de 2×10^6 de coliformes fecales por gramo de sólidos.

Esto se logra mediante los siguientes procesos:

- a) Tiempo de permanencia de 40 – 60 días a 15 – 20 °C, en condiciones aerobias.
- b) Tiempo de permanencia de 15 – 60 días a 22 – 55°C, en condiciones anaerobias.
- c) Tiempo de permanencia de 3 - 6 meses con temperatura superior a 0°C, al menos por 2 meses cuando se hace secado al aire del lodo.
- d) Tiempo de permanencia de 5 días a 40 – 50 °C, cuando se usa el compostaje.
- e) Tiempo de permanencia de 2 horas a pH 12 al ser alcalinizados con cal viva o apagada.

Un lodo clase B puede salir de la Planta con las condiciones ya descritas o puede ser procesado para convertirlo en Clase A (CAPAC, 2010).

c. Lodos peligrosos: Son aquellos de alto riesgo para la salud y que deben manejarse como residuos peligrosos.

Un lodo peligroso es aquel:

- 1) Contiene más de 2×10^6 coliformes fecales por gramo de sólidos totales.
- 2) Más de 20 mg/kg de cadmio.
- 3) Más de 4 mg/kg de mercurio.
- 4) Más de 100 mg/kg de plomo.
- 5) Más de 20 mg/kg de selenio.

Por lo tanto el lodo peligroso debe manejarse como un residuo peligroso, luego solo puede disponerse en sitios especialmente habilitados para este tipo de residuos, ya que no tienen utilidad como insumo en otros procesos por su riesgo sanitario (CAPAC, 2010).

2. Manejo de los lodos estabilizados. Es recomendable que los lodos estabilizados no permanezcan más de 7 días en la planta generadora. Asimismo, no debe tenerse cantidades superiores a 35 toneladas para lodos clase B y 40 toneladas para los de clase A. Si se desea disponer los lodos estabilizados en un relleno sanitario, el volumen no debe ser superior al 8% del total de residuos domésticos. En este caso la humedad del lodo podría ser del 70% o menos y solo se permiten lodos clase A y B (CAPAC, 2010).

a. Estabilización por cal: Durante este proceso se añade suficiente cal a los lodos para elevar el pH arriba de 12, condiciones a las cuales los microorganismos no mantienen sus funciones metabólicas, como consecuencia de ello, mientras se mantenga este valor de pH, los lodos no despedirán olores, no serán materiales infecciosos y se eliminará su potencial de putrefacción. El proceso de estabilización con cal puede ser previo a un proceso de deshidratación o posterior a él, y se utiliza cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), como cal viva, (CaO). En algunos casos, la cal puede ser sustituida por polvo de hornos de cementos (Morales, 2008).

1) Pre tratamiento con cal: Para este proceso es necesario aplicar una cantidad mayor de cal por peso unitario de lodo tratado, que la requerida para la deshidratación. Este excedente es necesario para mantener un pH alto. Así mismo es necesario suficiente tiempo de contacto para obtener un alto porcentaje de eliminación de patógenos. Se recomienda mantener un pH arriba de 12 por lo menos 2 horas para asegura la destrucción de patógenos. La dosis de cal necesaria estará en función del tipo de lodos y la concentración de sólidos. En la Tabla No. 1, se indica las dosis típicas. A mayor concentración de sólidos menor será la dosis de cal necesaria para un aumento constante de la temperatura. La estabilización con cal no destruye la materia orgánica, de manera que se debe aplicar un exceso de cal al ser evacuados o desecharlos antes de que el pH disminuya. El exceso puede llegar a ser de hasta 1.5 veces la cantidad necesaria para mantener el pH en 12 (Morales, 2008).

Tabla No. 7. Dosis típicas de cal para la estabilización de lodos líquidos.

Tipo de lodo	Concentración de sólidos, %		Dosis de cal kg Ca(OH) / ton sólido seco	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
Primario	3 – 6	4.3	60 – 170	120
Exceso de fango activado	1 – 1.5	1.3	210 - 430	300
Mezcla digerida por vía aerobia	6 – 7	6.5	140 – 430	190
Lodo en tanque de sedimentación	1 – 4.5	2.7	140 – 250	200

(Morales, 2008)

2) Post – tratamiento con cal: En este proceso la cal hidratada se añade a los lodos deshidratados y se mezcla por medio de un transportador de tornillo o por medio de un mezclador de paleta a fin de elevar el pH de la mezcla. Este paso es de vital importancia ya que es necesario eliminar la formación de bolsas de materia putrescible, si el mezclado se lleva a cabo con éxito el resultado final es una mezcla formada por pequeñas partículas que pueden ser almacenadas por largos periodos o esparcida sobre el terreno de manera sencilla. El uso de cal viva es preferible debido a que al contacto con el agua se producen dos efectos benéficos:



- a) Es una reacción exotérmica lo que eleva la temperatura por arriba de 50°C, y se logra la inactivación de huevos de gusanos.
- b) Parte del agua contenida se une químicamente al calcio lo que beneficia el secado del lodo.

El sistema de post - tratamiento presenta una serie de ventajas frente al tratamiento previo:

- Se puede emplear cal en polvo, no es necesaria la adición de agua a los lodos deshidratados.
- No se necesitan tasas de deshidratación específicas.
- Eliminación de depósitos carbonatados.
- Eliminación de problemas de mantenimiento en el equipo de deshidratación de lodos.

La estabilización de lodos por medio de adición de cal presenta bajos costos de inversión pero puede implicar altos costos de operación a menos que el costo de la cal

sea bajo. Esta tecnología implica un aumento en la cantidad de los lodos ya que al final del proceso el peso de los lodos se incrementa respecto al peso inicial en un 20 – 40 %, esto se debe a que los rangos de cal agregada van de 100 – 200 kg/ton sólidos secos (Morales, 2008).

b. Tratamiento térmico: El tratamiento térmico es un proceso en el que los lodos se calientan en un depósito a temperaturas de hasta 260°C y a presiones de hasta 2760 kN/m² durante un periodo corto de tiempo. Este tratamiento sirve como proceso de estabilización y acondicionamiento, aunque se considera más como proceso de acondicionamiento ya que a altas presiones y temperaturas el agua contenida y ligada a los lodos se libera, permitiendo una deshidratación adecuada sin necesidad de adición de reactivos químicos. Una vez que el agua contenida en los lodos se ha liberado, se provoca la destrucción celular y la liberación de sólidos orgánicos solubles y nitrógeno amoniacal (Robles, 2006).

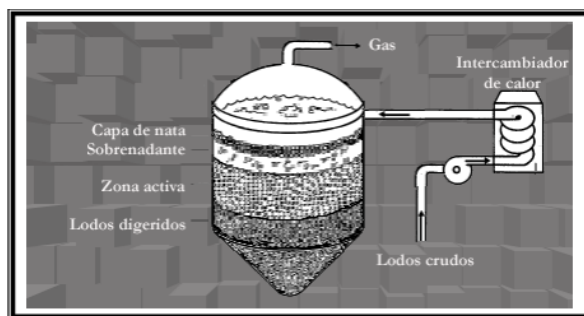
c. Digestión aerobia: El proceso de digestión aerobia es muy similar al proceso de lodos activados empleado en el tratamiento de aguas residuales. Los lodos son alimentados a un tanque en donde son mezclados en condiciones aeróbicas, a medida que el suministro de alimento (sustrato) se agota, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma a fin de mantener sus funciones metabólicas. A esta fase se le llama endógena, y los productos finales son dióxido de carbono, agua y amoniacal. Posteriormente el amoniacal se oxida para formar nitratos. La reacción es la siguiente:



Dentro de la digestión aerobia es muy importante considerar los efectos de la acidez producidos por la oxidación del amoniacal a nitratos, si la alcalinidad presente en el agua residual no es la suficiente, será necesaria la adición de algún reactivo que permita mantener el pH en los niveles deseados (Morales, 2008).

d. Digestión anaerobia: En el proceso de digestión anaerobia, los lodos residuales son alimentados a un tanque en donde se mezclan en condiciones libres de oxígeno. Al no tener suministro de alimento los microorganismos contenidos entran en fase endógena y como productos finales obtenemos metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y trazas de otros gases. La digestión anaerobia es un proceso que depende de la acción de un consorcio de bacterias, clasificadas como hidrolíticas, acetogénicas, acidogénicas y metanogénicas.

Figura No. 9. Digestión anaerobia.



(García, 2006)

En sí la digestión anaerobia comprende de dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (García, 2006).

Tabla No. 8. Efectividad de los procesos de estabilización de lodos.

Método	Efectividad			
	Reducción de olor	Eliminación de patógenos	Remoción de toxinas	Reducción de materia putrescible
Digestión				
Aerobia	+	+	0	+
Anaerobia	+	+	+ ²	+
Tratamiento con cal				
Cal hidratada (Ca(OH) ₂)	+	+	+ ³	0
Cal viva (CaO)	+	++	++ ³	0
Compostaje	+	+	0	+
Incineración	++	++	0	++
Tratamiento térmico	++	++	0	+

0 = no efectivo; + = efectivo; ++ = muy efectivo

² Remoción de sobrenadante

³ Reducción de metales solubles

I. Tornillos transportadores.

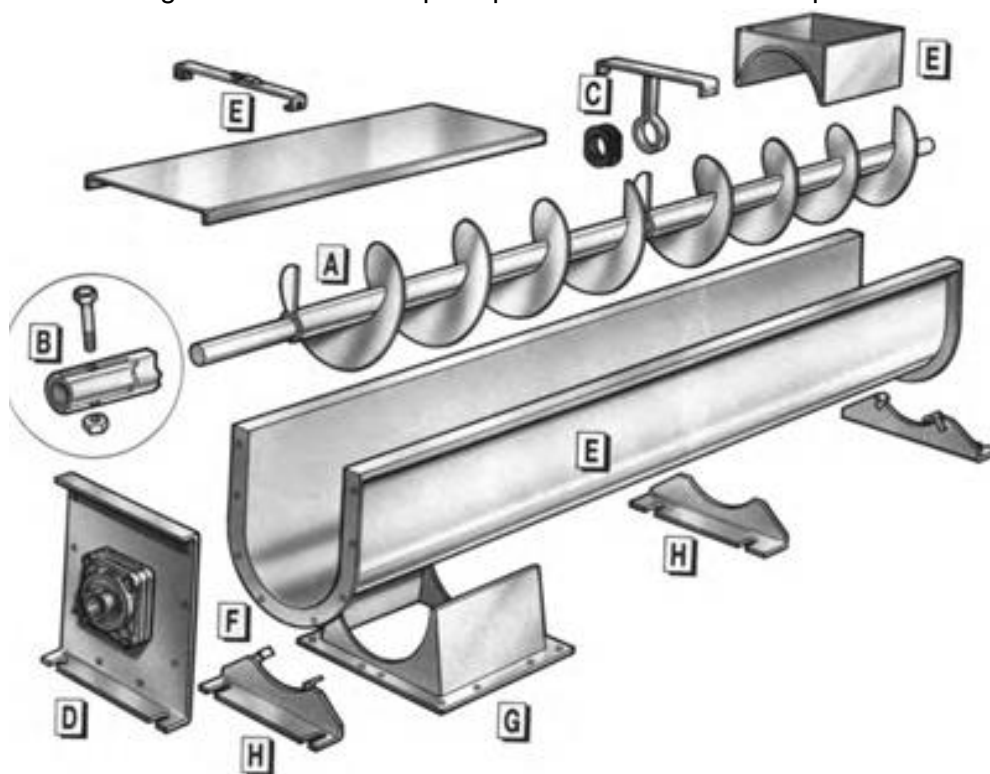
Los tornillos transportadores mueven material ya sea horizontal, inclinado o verticalmente. Son utilizados para alimentar, distribuir, coleccionar o incluso mezclar, los tornillos transportadores pueden estar equipados ya sea para enfriar o calentar mientras se realiza la transferencia con su respectiva chaqueta o cobertura, estos producen fácilmente polvos y como se encuentran a la intemperie no son a prueba de roedores. Su diseño compacto ahorra espacios valiosos ya que no se requiere una corrida de retorno

del material. Los tornillos transportadores de instalar y mantener presentando menores costos para este tipo de transportadores al referirse de mantenimiento y operación.

Los tornillos transportadores están robustamente contruidos y fabricados con precisión para garantizar una completa fiabilidad, así como la versatilidad necesaria para satisfacer una amplia gama de puestos de trabajo. Los tonillos transportadores están llevando a cabo sus tareas asignadas en varios procesos en casi todas las industrias, y por lo tanto nuevos diseños han salido a la luz con base en sus componentes y maquinaria (Orthman, 2012).

Las partes de un tornillo transportador son las siguientes:

Figura No. 10. Partes principales de un tornillo transportador.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

En donde:

- A. Tornillo transportador, compacto, construido horizontalmente, inclinado o verticalmente, preciso helicoidalmente.
- B. Componentes de trabajo valorados en tornillos, acoples y secciones para el eje.
- C. Ganchos y cojinetes.
- D. Cojinetes y sellos para el extremo final.

- E. Tubería en forma de “U” para colocar el tornillo transportador.
- F. Bridas para unión de secciones del transportador.
- G. Canalón de descarga.
- H. Soportes para alinear el tornillo transportador al suelo y soportar el mismo.

Figura No. 11. Tornillo transportador.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

En la Figura No. 11 se observa un tornillo transportador el cual imparte un movimiento suave y positivo para el material a medida que el tornillo rota.

Figura No. 12. Acoplamientos y ejes del tornillo.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

La Figura No. 12 ilustra lo que son los acoplamientos y el eje de un tornillo transportador.

Figura No. 13. Partes para realizar cambios de una sección del tornillo.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

En la Figura No. 13 se observan los acoplamientos para realizar cambios en una sección del tornillo que se encuentra dañada sin necesidad de desmantelar todo el tornillo transportador y así eliminar costos de mantenimiento.

Figura No. 14. Ganchos para sostener el tornillo.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

En la Figura No. 14 se pueden observar los ganchos utilizados para sostener el tornillo en la tubería en forma de "U".

Figura No. 15. Cobertores para la tubería en forma de “U”.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

En la Figura No. 15 se observa los cobertores para las tuberías en forma de “U” con los cuales se asegura que no haya tanta pérdida de material.

Algunas de las aplicaciones que se le pueden dar a estos tornillos transportadores son: para maquinas realizadoras de asfalto las cuales mueven el material uniformemente en la sección aplicada para permitir un buen trabajo de asfaltado, tornillos transportadores verticales para elevar material cuando el espacio es reducido y entre otras muchas más. El tornillo transportador es una de los transportadores más económicos en el mercado para mover materiales a granel (Orthman, 2012).

1. Diseño de un tornillo transportador. Para el diseño de un tornillo transportar se encontró un proveedor el cual nos muestra varias tablas que se verán a continuación y los cálculos necesarios para determinar qué tipo de tornillo transportador es el más adecuado para nuestra operación.

En la Tabla No. 7. se puede observar la data que nos da el proveedor para lograr determinar el código que identificara las características del material a transportar, la tabla presenta abreviaciones para la densidad de bulto, el tamaño de partícula, abrasividad, fluidez, las propiedades del material y un breve ejemplo de cómo leer el código que nos provee el material a utilizar.

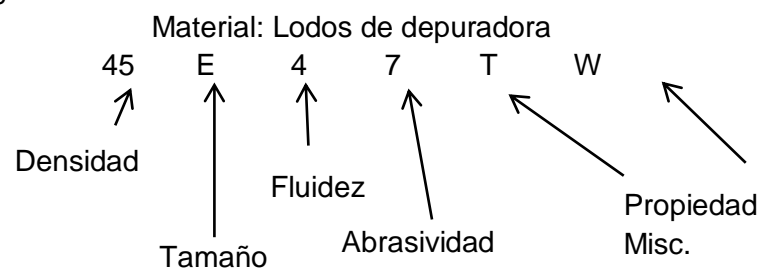
La Tabla No. 10 muestra las características del material a utilizar, provee valores como el peso del material en libras por pie cubico, el código del material, la capacidad de alimentación, un factor y la serie de componentes a utilizar

En la Tabla No. 11 se observa el porcentaje de alimentación para el tornillo, el diámetro de la tubería, los RMP máximos permitidos para cierto diámetro y la capacidad en pies cúbicos por hora a un RMP.

Tabla No. 9. Código de clasificación del material a utilizar.

Tabla del código de clasificación de materiales		
Clase principal	Características del material	Designación de código
Densidad	Densidad de bulsto	Actual Kg/m ³
Tamaño	Muy fino	Tamiz No. 200 A ₂₀₀
	Fino	Tamiz No. 100 A ₁₀₀
		Tamiz No. 40 A ₄₀
		Tamiz No. 6 B _B
	Granular	1.27 cm C _{1.27}
		7.62 cm D _{7.62}
		17.78 cm D _{17.78}
40.64 cm D _{40.64}		
Grumoso	Por encima de 40.64 cm X = tamaño máximo actual D _x	
Irregular	Fibroso, losa o cilíndrico E	
Fluidez	Fluido muy libre – Función de fluido > 10	1
	Fluido libre – Función de fluido >4 pero <10	2
	Fluidez promedio – Función de fluido > 2 pero < 4	3
	Fluido lento – Función de fluido < 2	4
Abrasividad	Abrasividad Media – índice 1-17	5
	Abrasividad Moderada – índice 18-67	6
	Abrasividad Extrema – índice 68-416	7
Propiedades Misceláneas	Acumulación y endurecimiento	F
	Genera electricidad estática	G
	Descomposición – Deterioro	H
	Inflamabilidad	J
	Se convierte plástico o tiende ablandarse	K
	Mucho polvo	L
	Se aérea y convierte en fluido	M
	Explosividad	N
	Pegajosidad – Adhesión	O
	Contaminante – Afecta el uso	P
	Degradable – Afecta el uso	Q
	Gas tóxico, humos	R
	Altamente corrosivo	S
	Medianamente corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Se aglomera	V
Presencia de aceite	W	
Se empaca bajo presión	X	
Ligero y esponjoso	Y	
Temperatura elevada	Z	

Como leer el código del material:



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 10. Características del material a utilizar.

Características del material					
Material	Peso [kg/m ³]	Código del material	Porcentaje de carga	Factor FM	Serie comp.
Lodo húmedo	1,115	45E47TW	30 B	0.8	3 D

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 11. Capacidad de un tornillo transportador a cierto RMP y diámetro a utilizar.

Tabla de capacidad de carga – Transportadores de tornillo sin fin					
Capacidad de carga	Diámetro del tornillo transportador [in]	Diámetro de la tubería [in]	RPM máximo	Capacidad [ft ³ /hr]	
				Máximo RPM	A 1 RPM
30 % B	6	2	120	90	1.50
	9	2 ½	100	295	5.46
	12	3	90	647	12.93
	14	3 ½	85	1031	20.62
	16	3 ½	80	1414	31.42
	18	4	75	2013	44.73
	20	4	70	2486	62.14
	24	4	65	4365	109.12
	30	4	60	7557	215.92

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Para determinar la velocidad en RMP del tornillo transportador es necesario realizar la siguiente operación:

$$N = \frac{C}{\text{Capacidad a 1 RMP}}$$

Ecuación 12(Orthman, 2006)

Donde:

N = Velocidad del tornillo transportador.

C = Capacidad requerida en ft³/hr.

Al utilizar ejes de hierro duro se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar el diámetro del eje, este diámetro debe ser menor o igual que el tamaño calculado posteriormente.

$$N = \frac{120}{\text{Diámetro del eje en pulgadas}}$$

Ecuación 13 (Orthman, 2006)

**Nota: Las ecuaciones se encuentran en sistema inglés debido a la fuente consultada.*

a. Determinación de los Caballos de Fuerza para un tornillo transportador. Para determinar la potencia requerida para el motor del tornillo transportador es necesario seguir las siguientes ecuaciones:

$$Hp_t = \frac{LNF_d F_b}{1,000,000} \text{ (Potencia al transportar al vacío)}$$

Ecuación 14 (Orthman, 2006)

$$Hp_m = \frac{CLWNF_f F_m F_p}{1,000,000} \text{ (Potencia al mover el material)}$$

Ecuación 15 (Orthman, 2006)

$$\text{Total de } Hp = \frac{(Hp_t - Hp_m)F_o}{e}$$

Ecuación 16 (Orthman, 2006)

**Nota: Las ecuaciones se encuentran en sistema inglés debido a la fuente consultada.*

En donde:

C = Capacidad requerida {m³/h}

e = Eficiencia de la unidad.

F_b = Factor del cojinete.

F_d = Factor del diámetro del tornillo

F_f = Factor de vuelo

F_m = Factor del material

F_o = Factor de sobrecarga

F_p = Factor de paletas

L = Largo del tornillo transportador

N = Velocidad de operación {RMP}

W = Peso del material a transportar {kg/m³}

Hp_f = Caballos de fuerza fricción sin material

Hp_m = Caballos de fuerza transportando material

Hp = Total de Caballos de Fuerza

La información necesaria para determinar los diferentes factores necesarios para las ecuaciones anteriores se puede encontrar de la Tabla No. 10 a la Tabla No. 16, en conjunto con la Figura No. 16.

Tabla No. 12. Factor de rodamiento.

Tipo de cojinete	Factor F _b
Bola	1.0
Bronce, simple Bronce, grafito Bronce, impregnado de aceite Lienzo de base fenólica Madera, impregnado de aceite	1.7
Nylon Polímero de ultra alto peso molecular	2.0
Hierro duro Superficie dura	4.4

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 13. Factor del diámetro del tornillo.

Diámetro	Factor F _d
6	18
9	31
12	55
14	78
16	106
18	135
20	165
24	235
30	360

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 14. Factor de vuelo.

Tipo de vuelo	Carga del transportador			
	15%	30%	45%	95%
Vuelo de corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Vuelo de corte y doblez	NR	1.5	1.7	2.2
Vuelo de cinta	1.05	1.14	1.20	-

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 15. Factor de paletas.

Factor F _p	Paletas por paso			
	1	2	3	4
	1.29	1.58	1.87	2.16

*Paletas estándar a 45°

*Sin paletas F_p = 1.0

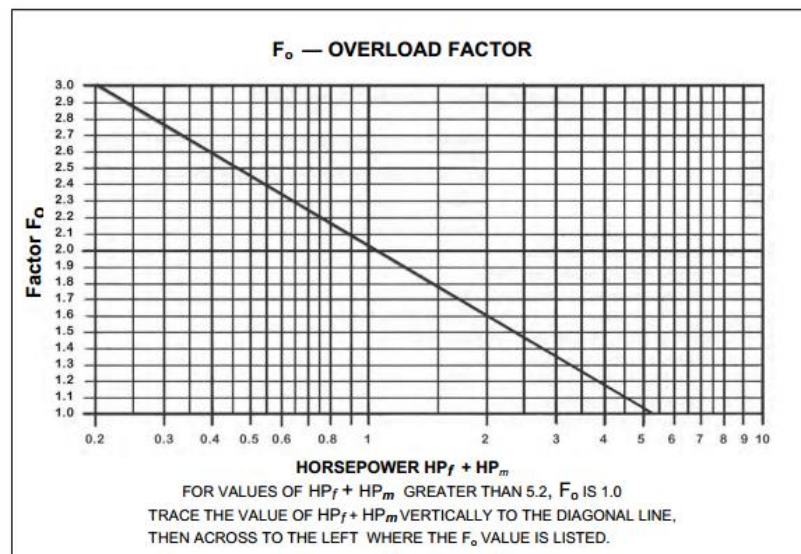
(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Tabla No. 16. Eficiencia de la unidad, e.

Montaje con tornillos o eje con cinturón en V	Cinturón en V para helicoidal reductor con acoplamiento	Motor reductor con transmisión por cadena	Motor reductor con acoplamiento
0.85	0.85	0.85	0.95

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

Figura No. 16. Factor de sobrecarga.



(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

b. Determinación de la deflexión del tornillo transportador. Normalmente la deflexión de un tornillo transportador se mantiene en el valor de 1/4" o menos. La longitud estándar de tornillos transportadores normalmente se mantiene en este valor.

La deflexión se puede calcular en un punto medio utilizando la fórmula siguiente:

$$DEF = \frac{5WL^3}{384EI}$$

Ecuación 17 (Orthman, 2006)

*Nota: Las ecuaciones se encuentran en sistema inglés debido a la fuente consultada.

Donde:

DEF = La deflexión en el punto medio en pulgadas.

W = Peso total del tornillo y libras.

L = Longitud del tornillo en pulgadas.

I = Momento de inercia para la tubería o el eje en pulgadas.

E = Modulo de elasticidad.

Tabla No. 17. Tuberías para los tornillos transportadores.

Diámetro nominal de la tubería [pulg]	Diámetro exterior nominal [pulg]	Cédula 40			Cédula 80		
		Diámetro nominal interno [pulg]	WT #/FT	I IN ⁴	Diámetro nominal interno [pulg]	WT #/FT	I IN ⁴
1 ¼	1.660	1.380	2.27	.1947	1.278	3.9	.2418
2	2.375	2.067	3.65	.666	1.939	5.02	.8769
2 ½	2.875	2.469	5.79	1.53	2.323	7.66	1.924
3	3.5	3.068	7.58	3.017	2.9	10.25	3.894
3 ½	4.0	3.548	9.11	4.788	3.364	12.51	6.28
4	4.5	4.026	10.79	7.233	3.826	14.98	9.61
5	5.563	5.047	14.62	15.16	4.813	20.78	20.67
6	6.625	6.065	18.97	28.14	5.761	28.57	40.49
8	8.625	8.071	28.70	72.49	7.265	43.39	105.7
10	10.75	10.02	161.00	-	-	-	212

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

c. Determinación del torque y los tipos de componentes del tornillo transportador.

Luego de seleccionar todos los tamaños, es necesario determinar qué tipo de componentes serán utilizados para el motor del tornillo transportador, es por ello que es necesario determinar el torque producido con la siguiente fórmula:

$$\text{Torque} = \frac{63025 * \text{Potencia del Motor}}{N (\text{Velocidad del Transportador})}$$

Ecuación 18 (Orthman, 2006)

Luego de obtener el valor del torque es necesario comparar con la Tabla No. 18 los valores del diámetro del eje, el diámetro de la tubería y determinar si abran problemas de torsión para la selección del tornillo transportador.

Tabla No. 18. Ratings de torque.

Diámetro del Eje (pulg)	Diámetro de la Tubería (pulg)	Diámetro del Perno (pulg)	Clasificación de torque (pulg*lb)									
			Perno						Tubería		Eje	
			Cojinete		Corte				Cédul a 40	Cédul a 80	GCC STD (C1045)	CEMA STD (C1018)
			2 pernos	3 pernos	STD SAE grado 2		Torque alto SAE grado 5					
		2 pernos	3 pernos	2 pernos	3 pernos	2 pernos	3 pernos					
1	1 ¼	¾	1915	2873	1369	2054	2945	4417	3143	3903	(1031)	822
1 ½	2	½	4970	7454	(3652)	5478	7852	11778	7512	9794	3852	3069
2	2 ½	5/8	7815	11723	(7609)	11413	16358	24538	14258	17937	9542	7603
2 7/16	3	5/8	11606	17409	(9273)	13909	19937	29905	23103	29819	18858	15026
3	3 ½	¾	(15435)	23152	16434	24652	35334	53001	32078	42076	35580	28351
3	4	¾	24975	37463	(16434)	24652	35334	53001	43074	57236	35580	28351
3 7/16	4	7/8	(21721)	32582	25631	38447	55107	82661	43074	57236	53296	42467
3 15/16	5	1	45759	68639	(38347)	57521	82446	123670	73044	99582	80286	63973
4 7/16	6	1 ¼	89917	134876	(67526)	101289	140181	217771	113843	163796	119796	88212
4 15/16	6	1 ¼	(72302)	108453	73145	112702	161539	242309	113843	163796	158818	126548

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

J. Diseño y selección de un silo para almacenaje de cal.

Un silo cumple con las propiedades de almacenar sólidos o líquidos, dependiendo del material a almacenar. El material y tipo de construcción de un silo depende para que tipo de material sólido o líquido se vaya a utilizar, en este caso se utilizará un silo para el almacenaje de cal muerta $\text{Ca}(\text{OH})_2$, siendo un material seco, las propiedades de la cal muerta son las siguientes, gravedad específica de 2.3-2.4, densidad de bulfo de 25-35 lb/cu. Ft, calor específico de 0.29 BTU/lb y su ángulo de reposo es de 70°. Hoy en día es muy común utilizar materiales de construcción de concreto, hierro fundido, acero al carbón, acero inoxidable, hierro negro y en algunos casos fibra de vidrio o plástico. El material a escoger depende mayormente del volumen a ser almacenado y de la compatibilidad química del material a almacenar con el material de construcción del silo. Según las industrias cole – palmer, la compatibilidad entre la cal muerta y el hierro fundido (cast iron) es un excelente material de construcción para el silo.

Para determinar la altura y diámetro del silo se realiza la relación del volumen de un cilindro el cual es:

$$V = \pi r^2 h$$

Ecuación 19 (Amrouche, 2002)

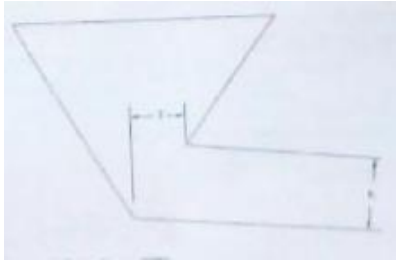
A partir de esta relación se determina el diámetro y por medio de la regla gruesa que dos veces el diámetro es la altura del silo.

$$2d = h$$

Ecuación 20 (Amrouche, 2002)

Para la alimentación del silo a un tornillo sin fin es necesaria una tolva cónica trucada con un espesor determinado, el diámetro igual al silo y con un ángulo de 70° para asegurar su total descarga. Esta tolva alimenta al tornillo transportador el cual servirá para dosificar el flujo másico de cal necesario para la estabilización del lodo un diseño ideal para la tolva con el tornillo transportador es el siguiente esquema

Figura No. 17 Diseño de tolva más tornillo sin fin ideal.

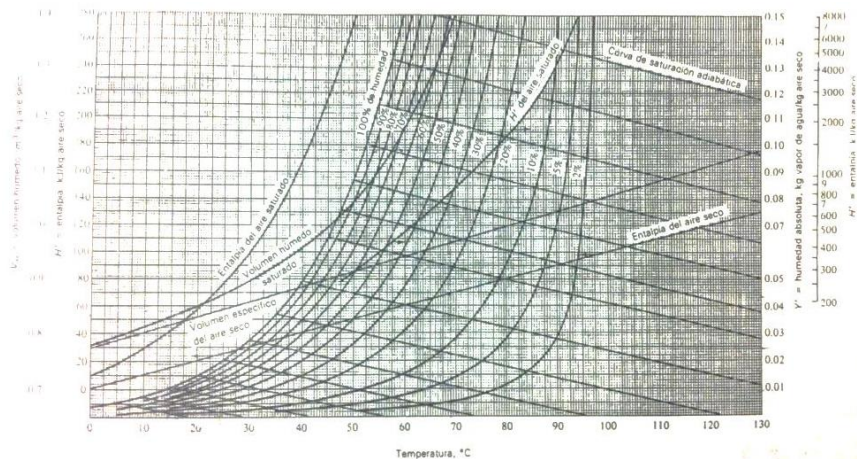


(Amrouche. Y, 2002)

K. Aplicación de las tablas psicrométricas en el secado.

Las Tablas psicrométricas transfieren información a una forma gráfica para simplificar relaciones del gas (aire en la mayoría de casos) y un vapor (agua en la mayoría de casos) hasta las condiciones de saturación. Estos datos clarifican los sistemas de secado en donde se utiliza gas para incorporar calor al sistema. La siguiente figura (Figura No. 18) muestra la relación de aire-agua a diferentes condiciones. Esta tabla ayuda a estimar y revisar cálculos. Sin la ayuda de éstas sería muy difícil visualizar y confirmar las operaciones de secado (Cook, 1991).

Figura No. 18. Tabla psicrométrica para aire y vapor de agua a 1 atm en unidades SI.



(Treybal, 1988)

Cualquier valor dentro de la Tabla No. 18 se puede localizar si se cuenta con dos valores. Estos pueden ser la temperatura de bulbo húmedo, bulbo seco, temperatura, humedad, entalpía o volumen húmedo. El volumen húmedo es el inverso de la densidad, por lo que se puede determinar la densidad de la mezcla aire-vapor de agua a partir de las condiciones de operación (Cook, 1991).

En cualquier proceso de secado, cuando se necesita una cantidad adecuada de calor, la temperatura y tasa de transferencia a la cual la vaporización del líquido ocurre dependerá de la concentración del vapor en la atmósfera. Para lograr eliminar el líquido del sólido se debe incorporar calor al sistema hasta que la presión de vapor iguale o exceda la presión parcial del vapor en el gas (la mayoría de casos aire). La definición de las diferentes propiedades del aire y su forma de cálculo se presentan a continuación (Perry, 1999).

1. La saturación de bulbo húmedo brinda la cantidad máxima de vapor de agua que 1Kg de aire puede poseer. Este valor se obtiene intersecando la temperatura de bulbo seco que es mayor. En este momento se iguala la presión parcial del aire con la presión de vapor del agua. La saturación de vapor a cualquier temperatura se define como (Perry, 1999).

$$Y \left[\frac{Kg}{Kg \text{ aire seco}} \right] = \frac{p}{(P - p)} * \frac{Mv}{Ma}$$

Ecuación 21(Perry, 1999)

Donde H es la saturación (Kg agua/Kg aire seco), p la presión de vapor de agua, P la presión absoluta, Mv la masa molecular del agua (18.01 Kg/kmol) y Ma la masa molecular del aire (29 Kg/kmol) (Perry, 1999).

2. El porcentaje de humedad relativa se define como

$$H_R = 100 \left(\frac{p}{p_s} \right)$$

Ecuación 22 (Perry, 1999)

Donde p es la presión parcial de vapor de agua en el aire, p_s es la presión de vapor de agua a la misma temperatura y H_R el porcentaje de humedad relativa (Perry, 1999).

3. El volumen húmedo es el volumen de masa unitaria de gas seco y de su vapor acompañante a la temperatura y presión de operación (Treybal, 1988).

$$v_H \left[\frac{m^3}{Kg} \right] = 8315 \left(\frac{1}{Ma} + \frac{Y}{Ma} \right) \frac{T_G [^\circ C] + 273}{p_t \left[\frac{N}{m^2} \right]}$$

Ecuación 23 (Treybal, 1988)

4. El calor húmedo es el calor que se requiere para aumentar la temperatura de la masa unitaria del gas y su vapor acompañante 1°C a presión constante (Treybal, 1988).

Este valor puede ser calculado por:

$$C_s \left[\frac{kJ}{Kg * K} \right] = 1.0 \left[\frac{kJ}{Kg * K} \right] + 1.87 \left[\frac{kJ}{Kg * K} \right] * Y$$

Ecuación 24 (Perry, 1999)

Donde 1.0 es el calor específico del aire seco y 1.87 el calor específico del vapor de agua.

5. La entalpía para la mezcla es la suma de las entalpías relativas para la parte gaseosa y vapor. Para evaluar las entalpías de saturación, generalmente se toma una saturación de forma adiabática y se determinan siguiendo la recta diagonal en la Figura No. 18.

La entalpía de vapor puede calcularse como:

$$H' = C_B(T_G - T_o) + Y'[C_A(T_G - T_o) + \lambda_o] = C_s(T - T_o) + Y'\lambda_o$$

Ecuación 25 (Treybal, 1988)

Donde λ_o es el calor latente de vaporización a la temperatura de referencia (T_o) (Treybal, 1988).

El aire presenta diferentes propiedades físicas en función de la temperatura. En la siguiente se muestran diferentes propiedades para diferentes temperaturas del aire que son útiles para procesos en los que se utiliza un flujo de aire con energía.

Tabla No. 19. Propiedades del aire a diferentes temperaturas.

Temperatura [°C]	Densidad [kg/m ³]	Capacidad calorífica [kJ/kg*K]	Conductividad térmica [W/m*K]	Viscosidad cinemática x10-6 [m ² /s]	Número de Prandtl
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	0.76
-100	1.98	1.009	0.016	5.95	0.74
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	0.725
0	1.293	1.005	0.0243	13.3	0.715
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	0.713
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	0.711
60	1.067	1.009	0.0285	18.9	0.709
80	1	1.009	0.0299	20.94	0.708
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	0.703
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	0.7
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	0.695
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	0.69
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	0.69
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	0.685
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	0.68
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	0.68
350	0.5666	1.055	0.0485	55.05	0.68
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	0.68

(http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html)

L. Equilibrio en sólidos insolubles.

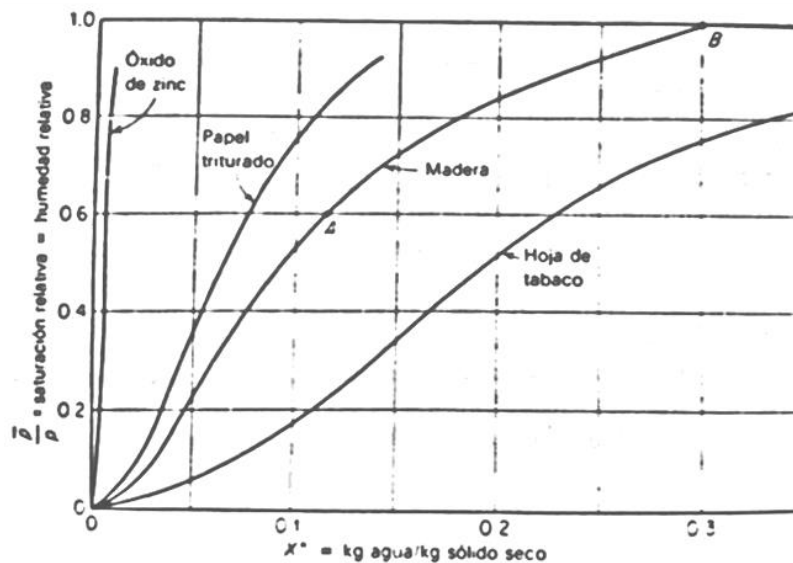
El grado de presión que ejerce la humedad contenida en un sólido húmedo o en solución depende de la naturaleza de la humedad, la temperatura y la naturaleza del sólido como se mencionó anteriormente (Treybal, 1988).

Si un sólido húmedo se expone a una corriente continua de gas fresco con una presión parcial dada del vapor \bar{p} , el sólido perderá humedad por evaporación o ganará humedad del gas. Para lograr perder humedad, la presión parcial o humedad en el sólido húmedo, debe ser mayor que la de la corriente de gas, de modo inverso el sólido se humedecerá. Este proceso de transferencia de masa del sólido al gas o viceversa, se da

hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido sea igual a \bar{p} . Entonces, el sólido y el gas están en equilibrio, y el contenido de humedad del sólido se conoce como su contenido de humedad en el equilibrio a condiciones predominantes (Treybal, 1988).

Regularmente se muestran las curvas de equilibrio en una relación de X^* (Kg agua/Kg sólido seco) y humedad relativa. Esta última se determina dividiendo la presión parcial en el equilibrio sobre la presión de vapor del agua pura. Estas curvas son aplicables en un amplio rango de temperaturas. En la Figura No. 19 se puede observar una curva de equilibrio de agua en algunos sólidos comunes. Si una muestra de madera contiene inicialmente un valor de humedad de 0.35 Kg agua/Kg sólido seco, y se expone a una corriente continua de 0.6 de humedad relativa, la madera perderá humedad por evaporación hasta que alcance su concentración en el equilibrio que corresponde al punto A en la Figura No. 19. A partir de este punto, no se logrará secar más el producto.

Figura No. 19. Contenido de agua en el equilibrio de algunos sólidos comunes a 25°C.



(Treybal, 1988)

Para lograr un mejor secado, el sólido debe exponerse a un aire con una humedad relativa menor. Si se desea eliminar toda la humedad del sólido, es necesario exponerlo a un aire perfectamente seco, trabajando la curva de equilibrio hacia el origen.

Como se mencionó anteriormente y se puede observar en la Figura No. 19, la humedad depende del sólido. Por lo tanto la curva de equilibrio será diferente. Generalmente, los sólidos inorgánicos muestran contenidos relativamente bajos de humedad en el equilibrio; por el otro lado los materiales celulares, esponjosos y de origen vegetal, muestran valores elevados de contenidos de humedad en el equilibrio.

Para conocer acerca del proceso de secado, se debe conocer la diferencia entre agua libre, ligada y no ligada. El agua libre es la diferencia entre el contenido total de agua del sólido y el contenido de agua en el equilibrio. Por lo tanto, si X_T es el contenido total de humedad y X^* es el contenido de humedad en el equilibrio, la humedad libre X viene dada por:

$$X = X_T - X^*$$

Ecuación 26 (McCabe, 2007)

En los cálculos interesa el valor de X . El agua ligada es el agua que se encuentra dentro de la molécula del sólido y tiene un contenido de humedad menor que el contenido de humedad de equilibrio de un sólido a 100 por ciento. El agua no ligada se refiere a la cantidad que se encuentra dentro del sólido y debe ser arrastrado hacia la superficie para lograr la evaporación, esta ejerce una presión de vapor igual a la del agua pura a la temperatura predominante.

M. Definiciones de humedad.

1. Contenido de humedad, en base húmeda: El contenido de humedad de un sólido en función del porcentaje en peso de humedad. Se expresa como (kg humedad/Kg sólido húmedo)*100 = [Kg humedad/(Kg sólido seco + Kg humedad)]*100 = $100X/(1 + X)$ (Treybal, 1988).
2. Contenido de humedad, base seca: Se expresa como Kg humedad/Kg sólido seco = X .
3. Humedad en el equilibrio X^* : Es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada del vapor.

N. Métodos de secado.

Existen diferentes formas en las cuales se puede obtener la energía para lograr la evaporación del agua (que en la mayoría de casos es lo que se necesita) para lograr disminuir la humedad en un sólido insoluble. Los tres tipos en los cuales se puede obtener energía en forma de calor son por medio de conducción, convección y por radiación.

1. Convección. El secado por convección es posiblemente el método más común de secado de sólidos en forma de placas o sólidos que tienen la característica de ser pastosos. El calor es aportado por un gas o aire caliente fluyendo sobre la superficie del

sólido, quien es el responsable de brindar el calor de evaporación del agua para lograr el secado (Mujumdar, 2006).

Este método se conoce como secado directo. En el periodo inicial de secado constante, la temperatura y humedad en la superficie del sólido se igualan a la de temperatura de bulbo húmedo del aire. En el periodo de decrecimiento la temperatura del sólido se acerca a la temperatura de bulbo seco del medio. Los secadores que se basan en este principio son: lecho fluidizado, rotatorios, de aspersion, lecho fijo, de bandejas o de túnel (Mujumdar, 2006).

2. Conducción. El secado por convección o indirecto, consiste en utilizar superficies calientes para evaporar el agua presente. Se utiliza mayormente para sólidos muy húmedos o productos muy delgados. La humedad evaporada se elimina del sistema por medio de una operación de vacío. Debido a que se pierde una gran cantidad de entalpía en el proceso, su eficiencia térmica tiende a ser pequeña. (Mujumdar, 2006)

Un secador indirecto se de mayor eficiencia se puede diseñar combinando las ventajas de un calentamiento directo e indirecto. Por ejemplo, un lecho fijo se puede sumergir en tubos de calentamiento (Mujumdar, 2006).

3. Radiación. El secado por radiación consiste en utilizar varias fuentes de radiación electromagnética con longitudes de onda que varían desde el espectro solar, hasta las microondas. La radiación solar, penetra muy poco en el material; únicamente se absorbe una parte de la radiación incidente (dependiendo de su longitud de onda). La radiación infrarroja se utiliza en el secado de películas y partículas muy delgadas. (Mujumdar, 2006)

En este tipo de secado, la energía es absorbida selectivamente por partículas de agua. Debido a la eliminación de agua, conforme el producto se va secado la energía utilizada disminuye. Los costos para obtener este tipo de energía son altos, por lo que se utiliza únicamente para productos valiosos o para la corrección de pequeños valores de humedad con el fin de obtener una humedad específica (Mujumdar, 2006).

O. Operaciones de secado.

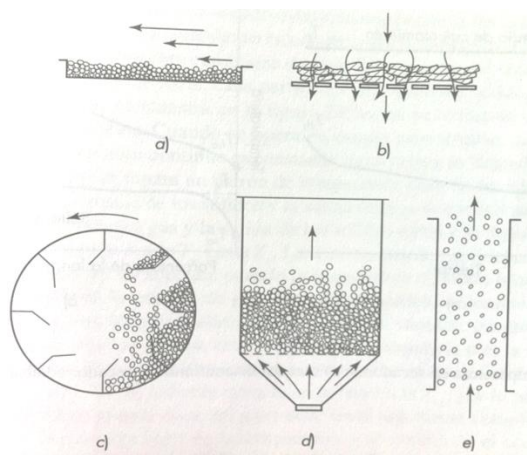
Las operaciones de secado pueden clasificarse según un proceso por lotes o continuo. El proceso por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la

sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo (Treybal, 1988).

Los equipos de secado están configurados de diferentes formas, en las que el sólido está expuesto al gas en diferentes arreglos:

- *Secado por circulación transversal*: El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina de sólidos, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. La velocidad del gas se mantiene baja para evitar arrastre de partículas sólidas (Figura No.20 a).
- *Secado por circulación a través del sólido*: El gas circula a través del lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre un tamiz. La velocidad del gas se mantiene baja para evitar arrastre de partículas sólidas (Figura No. 20 b).
- *Secado por rotación*: Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas en el gas (Figura No. 20 c).
- *Secado por lecho fluidizado de sólidos*: El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. Se produce un arrastre de las partículas finas (Figura No. 20 d).
- *Secado por flujo paralelo gas-sólido*: Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y transportados de manera neumática desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico (Figura No. 20 e).

Figura No. 20 Tipos de equipo de secado de sólidos



(McCabe, 2007)

1. Secado por lotes. El secado por lotes consiste en utilizar una fuente de calor a una

cantidad de masa fija, aplicando un tiempo de secado óptimo para lograr obtener los valores de humedad final necesarios. Los métodos de secado pueden ser directos o indirectos, siguiendo el fundamento anteriormente mencionado (McCabe, 2007).

a. Secado directo: La construcción de estos secadores depende en gran medida de la naturaleza de la sustancia que se va a secar. Los secadores de platos, llamados también secadores de gabinete, de compartimiento o anaqueles, se utilizan para secar sólidos que deben sujetarse sobre platos. Debido a que el material debe ser manejado y quedará fijo, se pueden utilizar materiales pastosos.

En el caso de materiales granulares, el sólido puede arreglarse en lechos delgados sostenidos sobre mallas, de forma que aire u otros gases puedan pasarse a través de los lechos. Esto produce un secado mucho más rápido. Un aparato típico para este proceso es un secador por circulación de aire en forma transversal. En caso de otros materiales, es necesario el preformado. Por ejemplo, en el caso de pastas que resultan en la precipitación de pigmentos u otros sólidos, se puede realizar un preformado de diferentes formas: Extrusión en tiras cortas, granulación (forzado a través de mallas), o por enladrillado (Treybal, 1988).

Una de las dificultades más importantes en la utilización de secadores por lotes, es la no uniformidad del contenido en humedad, propia del producto terminado que se extrae en las diferentes partes del secador. Esta falta de uniformidad se da principalmente al movimiento inadecuado y no uniforme del aire dentro del secador. Es importante eliminar las bolsas de aire estancado para mantener la humedad de forma uniforme. Con este fin, se deben pasar grandes volúmenes de aire sobre los platos, si es posible en velocidades entre 3 a 6 m/s, siempre y cuando el sólido no se desplace. Esto se puede lograr introduciendo solo una vez grandes cantidades de aire, pero el costo es demasiado grande. Para lograr este efecto, se admiten cantidades pequeñas de aire fresco y se recircula la mayoría, donde algunas veces el rango es de 80 a 90 por ciento de recirculación (Treybal, 1988).

La recirculación de grandes cantidades de aire hace necesariamente que la humedad del aire en el secador aumente considerablemente más que la del aire fresco. Por tanto, se obtienen bajos porcentajes de humedad y en consecuencia rapidez de secado razonablemente elevadas, utilizando temperaturas lo más altas posible. El secador debe aislarse completamente, no solo para conservar el calor, sino también para que las paredes internas se mantengan a temperaturas mayores del punto de rocío del aire, a fin de prevenir la condensación de la humedad sobre las paredes. La humedad dentro del

secador se puede alterar si el sólido se endurece o se tuerce con un secado muy rápido, pudiendo crear que únicamente se seque la parte exterior (Treybal, 1988).

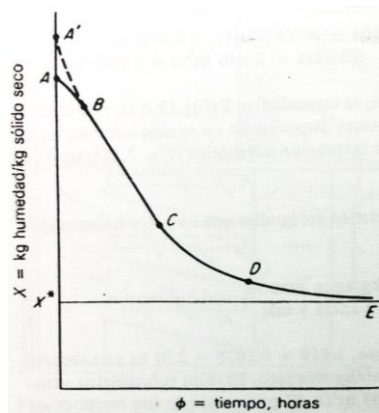
b. Secado indirecto: Los secadores de anaqueles al vacío son secadores de platos cuyos gabinetes, se ajustan con puertas que cierran perfectamente, de forma que pueden operarse a presiones inferiores a la atmosférica. Los platos o anaqueles que contienen el sólido a secar, descansan sobre anaqueles huecos a través de los cuales se pasas agua tibia o vapor, a fin de proporcionar el calor necesario para la evaporación de la humedad. El calor se conduce hasta el sólido a través del metal de los anaqueles y platos (Treybal, 1988).

Estos secadores presentan un alto costo de construcción y mantenimiento. En consecuencia, se utilizan sólo para materiales valiosos que deben secarse a bajas temperaturas en ausencia de aire para evitar la descomposición (Treybal, 1988).

c. Velocidad del secado por lotes: Con el fin de fijar horarios de secado y determinar el tamaño del equipo, es necesario saber el tiempo que se requerirá para secar una sustancia a partir de un contenido de humedad a otro en condiciones específicas (Treybal, 1988).

La rapidez de secado puede determinarse en el laboratorio suspendiendo una muestra en un gabinete o tubería, bajo una corriente de aire. Las operaciones deben parecerse lo más posible a las condiciones que se desean a escala industrial. Conforme el tiempo, se determina la masa del sólido para conocer la cantidad de humedad que se pierde (los intervalos son elegidos a conveniencia). Debe conocerse la masa seca de la muestra. Graficando los resultados del tiempo versus la cantidad de masa de humedad sobre masa del sólido seco, se obtiene una curva de secado como muestra la Figura No. 21 a continuación (Treybal, 1988).

Figura No. 21. Curva de secado por lotes.



(Treybal, 1988)

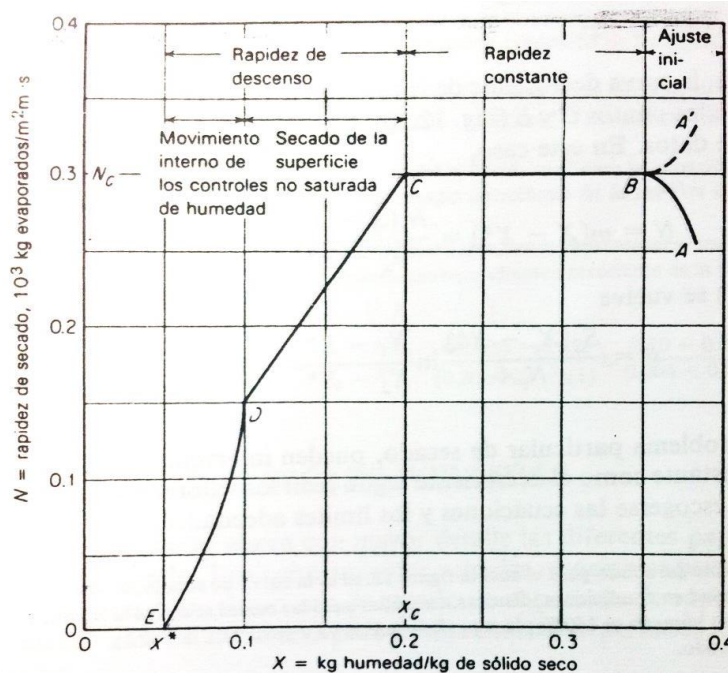
Se puede obtener mucha información si se convierten los datos a rapidez de secado, expresadas como N masa/tiempo (área) y se grafican contra el contenido de humedad, como se muestra en la Figura No. 5. El valor de N se puede determinar como:

$$N = - \frac{S_s \Delta X}{A \Delta \theta}$$

Ecuación 27 (Treybal, 1988)

Donde S_s es la masa del sólido seco, ΔX el cambio de humedad, A el área y $\Delta \theta$ el cambio en el tiempo (Treybal, 1988).

Figura No. 22 Curva típica de rapidez de secado, condiciones de secado constante.



(Treybal, 1988)

Generalmente hay dos partes principales en la curva de rapidez de la Figura No. 5, un periodo de rapidez constante (del punto B al C) y uno de rapidez decreciente (del punto C al E). El punto A corresponde a muestra el ajuste que se crea hasta que la superficie del sólido llega a una temperatura de equilibrio t_i . El punto C se conoce como el contenido crítico de humedad (X_c), donde se comienza a observar algunos puntos secos en la superficie del sólido. El punto D corresponde al final de la rapidez decreciente en forma constante, y el punto E muestra el valor en el equilibrio (Treybal, 1988).

Los tiempos necesarios para el secado, corresponden a la parte de rapidez constante y decreciente. Para la rapidez constante, se puede calcular como:

$$\theta = \frac{S_s(X_1 - X_2)}{AN}$$

Ecuación 28 (Treybal, 1988)

Para el periodo de rapidez decreciente se puede calcular el tiempo como:

$$\theta = \frac{S_s(X_c - X^*)}{AN} \ln \frac{(X_1 - X^*)}{(X_2 - X^*)}$$

Ecuación 29 (Treybal, 1988)

Los valores de las humedades, deben elegirse entre los límites adecuados (Treybal, 1988).

El mecanismo de secado puede variar, ya que las condiciones de operación serán diferentes para cada material o proceso. Debe conocerse el valor del coeficiente de transferencia h_c que ha sido simplificado por medio de relaciones. Las relaciones son las siguientes:

Flujo de gas paralelo:

$$h_c = 5.90 \frac{G^{0.71}}{de^{0.29}}$$

Ecuación 30 (Treybal, 1988)

Flujo de gas perpendicular:

$$h_c = 24.2G^{0.37}$$

Ecuación 31 (Treybal, 1988)

Si en algún momento en el proceso, se realiza una variación en las condiciones se crearan diferentes efectos, los cuales se muestran a continuación:

1. Efecto de la velocidad del gas: N es proporcional a $G^{0.71}$ para flujo paralelo y $G^{0.37}$ para flujo perpendicular.
2. Efecto de la temperatura del gas: Al aumentar la temperatura del aire, aumenta $T_g - T_s$; por lo tanto, aumenta N .
3. Efecto de la humedad del gas: Al aumentar la humedad, disminuye la rapidez del secado.

4. Efecto del espesor del sólido que se está secando: El tiempo de secado es directamente proporcional al espesor (Treybal, 1988).

2. Secado continuo. En este tipo de secado, el sólido se encuentra en movimiento junto con el gas caliente y puede realizarse por medio de un flujo de gas a contracorriente y o paralelo respecto al flujo del sólido húmedo (McCabe, 2007).

En la operación adiabática a contracorriente, el gas más caliente está en contacto con el sólido más seco; por lo tanto, el sólido descargado se calienta a una temperatura que se puede aproximar a la del gas entrante, esto proporciona un secado más rápido. Se debe tener una alta precaución ya que el sólido puede descomponerse a calentarse a altas temperaturas y también se puede disminuir la eficiencia térmica de la operación debido a que el sólido acarrea un calor sensible considerable (Treybal, 1988).

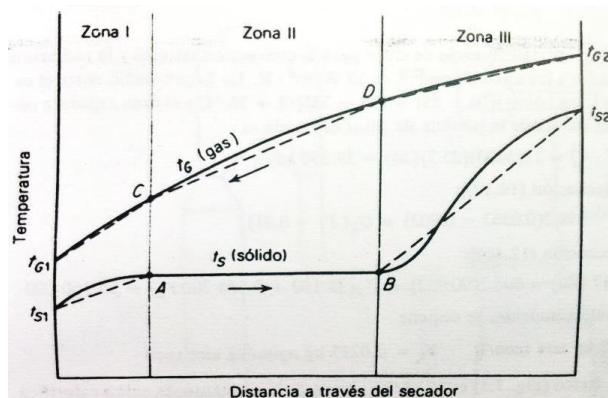
En la operación adiabática en paralelo, el sólido húmedo se pone en contacto con el gas más caliente. Mientras esté presente la humedad superficial no contenida, el sólido se calentará únicamente a la temperatura de bulbo húmedo del gas; por esta razón, los sólidos solo pueden secarse mediante un gas bastante caliente. La ventaja es que, a la salida del secador, el gas se ha enfriado considerablemente; no se daña el sólido seco; en consecuencia, también se controla su temperatura de salida y humedad. Este proceso se utiliza para evitar el endurecimiento y otros problemas asociados con el secado por lotes (Treybal, 1988).

Las ventajas del secado continuo son las siguientes: generalmente el equipo necesario es pequeño en comparación con la cantidad de producto; la operación se integra fácilmente con la fabricación química continua; el producto tiene un contenido más uniforme de humedad, y el costo de secado por unidad es relativamente pequeño (Treybal, 1988).

- a. Velocidad del secado para directo continuo: Las operaciones se pueden realizar a altas temperaturas o bajas temperaturas. Generalmente, las altas temperaturas pueden considerarse cuando el aire excede los 150°C. Un proceso continuo consta de tres zonas, como se muestra en la Figura No. no. 3. En la zona I, la zona de precalentamiento, el sólido se calienta mediante el gas, hasta que la rapidez de transferencia de calor al sólido se equilibra mediante requerimientos caloríficos para la evaporación de la humedad. En la zona II la temperatura en el equilibrio del sólido permaneces básicamente constante, mientras que se evaporan la humedad superficial y no ligada. En el punto B, se alcanza la humedad crítica del sólido; en la zona III, ocurren

el secado de la superficie no saturada y la evaporación de la humedad ligada. La zona II representa la parte principal para muchos secadores; es importante considerar las relaciones de temperatura-humedad del gas cuando éste pasa a través de esta sección. En los procesos de secado a bajas temperaturas, se elimina la zona I. Los valores críticos se encuentran en el cambio de las zonas II a III (Treybal, 1988).

Figura No. 23 Gradientes de temperatura en un secador a contracorriente continua.



(Treybal, 1988)

Las operaciones deben establecer un balance de masa y energía a la entrada y salida del secador. Un balance de humedad es:

$$S_s(X_1 - X_2) = G_s(Y_1 - Y_2)$$

Ecuación 32 (Treybal, 1988)

La entalpía del sólido húmedo es:

$$H'_s = C_s(T_s - T_o) + XC_a(T_s - T_o) + \Delta H_a$$

Ecuación 33 (Treybal, 1988)

Donde H'_s es la entalpía del sólido húmedo, C_s la capacidad calorífica del sólido seco, C_a la capacidad calorífica de la humedad y ΔH_a el calor integral de humidificación (Treybal, 1988).

Generalmente se considera únicamente la transferencia de calor desde el gas. Los cálculos para la determinación de la longitud del secador se determinan de la siguiente forma, asumiendo que no hay pérdidas y el coeficiente de transferencia de calor constante

$$dN_{tOG} = \frac{dT'_G}{T_G - T_S} = \frac{UadZ}{G_s C_s}$$

Ecuación 34 (Treybal, 1988)

$$N_{tOG} = \frac{\Delta T'_G}{\Delta T_m} = \frac{Z}{H_{tOG}}$$

Ecuación 35 (Treybal, 1988)

$$H_{tOG} = \frac{G_s C_s}{Ua}$$

Ecuación 36 (Treybal, 1988)

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor entre el gas y el sólido.

$T_G - T_S$ = la diferencia de temperatura para la transferencia de calor.

a = superficie interfacial/volumen del secador.

N_{tOG} = número de unidades de transferencia de calor.

H_{tOG} = Longitud de la unidad de transferencia de calor.

T'_G = cambio en la temperatura del gas debido a la transferencia de calor únicamente hacia el sólido.

T_m = diferencia de temperatura promedio adecuada entre el gas y el sólido.
(Treybal, 1988)

En el caso de las operaciones a bajas temperaturas, los cálculos son diferentes ya que se elimina la zona 1. Los cálculos para las zonas II y III se realizan de la siguiente forma:

Zona II:

$$\theta_{II} = \frac{S_s G_s}{A S_s k_y} \ln \frac{(Y_s - Y_c)}{(Y_s - Y_1)}$$

Ecuación 37 (Treybal, 1988)

Donde Y_s es la humedad del gas en la superficie sólida, k_y es el coeficiente de transferencia de masa del gas, que puede calcularse como $N/Y_s - Y$ (Treybal, 1988).

Zona III:

$$\theta_{III} = \frac{S_s (X_c - X^*)}{A k_y} \int_{X_2}^{X_c} \frac{dX}{(Y_s - Y_1)(X - X^*)}$$

Ecuación 38 (Treybal, 1988)

P. Marco legal.

1. Aplicación del acuerdo gubernativo No.236-2006

El acuerdo gubernativo No. 236-2006, emite el “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”. El reglamento se aplica a:

- a. Entes generadores de aguas residuales;
- b. Personas que descargan aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c. Personas que produzcan aguas residuales para reutilizar;
- d. Personas que reutilizan parcial o totalmente aguas residuales;
- e. Personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

(Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006)

2. Definiciones

Aguas residuales: aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Aguas residuales de tipo especial: generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Cuerpo receptor: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Efluente de aguas residuales: aguas residuales descargadas por un ente generador (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Ente generador: persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Estabilización de lodos: proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Límite máximo permisible: valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reutilizar y lodos (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Lodos: sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Muestra: parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reutilizar o lodos (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Parámetro: variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reutilizar o lodos, asignándole un valor numérico (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Tratamiento de aguas residuales: cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, usado para mejorar las características de las aguas residuales (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

3. Parámetros para lodos

Artículo 38. Obligatoriedad. Todos los lodos producto de tratamiento de aguas residuales que presenten un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximo permisibles del presente reglamento para su disposición final (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Artículo 39. Aplicación. Los lodos regulados por el presente reglamento son los generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Artículo 41. Disposición final. La disposición final de los lodos se puede realizar por cualquiera de las siguientes formas (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006):

- a. Aplicación al suelo: acondicionados, abono o compost.
- b. Disposición en rellenos sanitarios.
- c. Confinamiento o aislamiento.
- d. Combinación de las antes mencionadas.

Artículo 42. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos. Para desechar los lodos según lo establecido en el artículo 41 del acuerdo gubernativo 236-2006, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos dentro del siguiente cuadro

Tabla No. 20. Límites máximos permisibles de las propiedades fisicoquímicas de los lodos según su forma de disposición.

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

(Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

*Las cantidades expresadas en la Tabla No. anterior son límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. Para suelos con potencial de hidrógeno igual que o mayor que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un 50% más de los valores presentados como límites máximos permisibles (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Artículo 46.Comercialización. La comercialización de lodos producidos es libre, siempre que se caractericen y se cumpla con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y tomando en cuenta lo siguiente (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006):

- a. No se debe permitir el contacto humano directo con los lodos.
- b. Los lodos deben cumplir con las especificaciones establecidas en el artículo 42 del acuerdo gubernativo No. 236-2006.
- c. El transporte de lodos se debe hacer en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- d. Recintos de almacenamiento transitorio de lodos deben ser autorizados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- e. Las empresas que prestan servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deben contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 59.Prohibición de Disposición de Lodos. Está terminantemente prohibido hacer la disposición final de los lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o

subterráneos. Se prohíbe también la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección, ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006).

Artículo 60. Aplicación de Sanciones. Las infracciones al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 darán lugar a la aplicación de cualquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando (Acuerdo Gubernativo No.236-2006, 2006):

- a. La mayor menor gravedad del impacto ambiental, según tipo de incumplimiento que se trate.
- b. Trascendencia del perjuicio a la población.
- c. Condiciones en que se produce.
- d. Reincidencia del infractor.

Artículo 31. Las sanciones que la comisión Nacional del Medio Ambiente dictamine por las acciones a las disposiciones Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente son las siguientes (Decreto 68-86, 1986):

- a. Advertencia, aplicada a juicio de la Comisión Nacional del Medio ambiente y valorada bajo un criterio basado en la magnitud del impacto ambiental.
- b. Tiempo determinado para cada caso específico para la corrección de los factores que deterioran el ambiente con la participación de la Comisión en la búsqueda de alternativas viables para ambos objetivos.
- c. Suspensión cuando hubiere variación negativa en los parámetros de constitución establecidos para cada caso específico por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- d. Comiso de las materias primas, instrumentos, materiales y objetos que provengan de la infracción cometida, pudiéndose destinar a subasta pública a su eliminación cuando fueren nocivos al medio ambiente.
- e. Demolición de construcciones violatorias de disposiciones sobre protección y mejoramiento del Medio Ambiente.
- f. Establecimiento de multas para restableces el impacto de los daños causados al ambiente, valorados según su magnitud.

g. Cualquier otra medida necesaria para corregir y reparar los daños causados y evitar la contaminación de actos perjudiciales al medio ambiente y los recursos naturales. (Decreto 68-86, 1986).

Q. Medio ambiente.

La disponibilidad del agua dulce en cantidades suficientes y puras es de importancia vital para suplir la demanda humana en el ámbito doméstico e industrial. El 70% de la superficie del planeta está cubierta con agua, la gran mayoría se encuentra en los océanos y es demasiado salina para cumplir los requerimientos de uso doméstico, en la agricultura, industrial, entre otros. De los 1.36 billones de kilómetros cúbicos de agua en la tierra, el 97% es agua del mar, el 2% se encuentra en los glaciares, 0.31% está en reservas subterráneas y el 0.32% es agua dulce disponible (esto equivale a alrededor de 4.2 millones de kilómetros cúbicos). La reserva de agua dulce disponible es repuesta por el ciclo hidrológico. El uso de agua dulce disponible en cada país se debe dividir entre usos de irrigación, oferta pública, industrias y usos rurales (Allen, 2002).

Existen diferentes fuentes de contaminación de agua, las puntuales y las no puntuales. Las fuentes no puntuales también se conocen como fuentes de área o difusas. Son sustancias introducidas a las aguas como resultado de áreas urbanas, áreas industriales o residuo urbano líquido. Las fuentes puntuales son descargas específicas de municipalidades o complejos industriales. En un cuerpo de agua superficial, la contaminación no puntual puede contribuir significativamente a la carga contaminante, principalmente debido al exceso de nutrientes y pesticidas (Liu, 1999).

Los efectos de las fuentes de contaminación en el agua son diversos y dependen del tipo y concentración de contaminantes. Los orgánicos solubles, representados por una alta DBO, agotan el oxígeno en el agua superficial. Esto resulta en muerte de peces, el crecimiento no deseado de vida acuática y olores indeseables. Cantidades raras de algunos orgánicos pueden causar sabores y olores indeseados. Los sólidos suspendidos disminuyen la claridad del agua y pueden afectar procesos fotosintéticos, si los sólidos se sedimentan y se forman depósitos de lodos, se pueden observar cambios en el ecosistema. El color, turbidez, aceites y materiales flotantes influyen la claridad del agua, proceso de fotosíntesis y son estéticamente indeseables. El exceso de nitrógeno y fósforo puede llevar a un crecimiento excesivo de algas. Los ácidos, álcalis y sustancias tóxicas son dañinas para la vida marina (Liu, 1999).

Tabla No. 21. Ejemplos de fuentes y efectos de constituyentes de aguas residuales.

Grupo componente	Efectos	Fuentes típicas
Biooxidizables expresados como BOD ₅	Desoxigenación, condiciones anaerobias, olores, muerte de peces.	Cantidades grandes de carbohidratos solubles: refinería de azúcar, enlatado, destilerías, procesamiento de lácteos, despulpado, y fabricación de papel.
Sustancias tóxicas primarias: As, CN, Cr, Cd, Cu, F, Hg, Pb, y Zn	Muerte de peces, envenenamiento de ganado, y acumulación en la carne de peces y moluscos.	Limpieza de metales, deposición, y encurtidos: refinería de fosfato y bauxita; generación de cloro; fabricación de baterías; y curtido.
Ácidos y alcalinos	Perturbación de sistemas de búfer de pH y desorden del sistema ecológico previo.	Drenaje de minería, curtido de acero, textiles, manufactura de químicos, desgrasado de lana, y lavanderías.
Desinfectantes: Cl ₂ , H ₂ O ₂ , solución de formol, y fenol	Mata microorganismos de forma selectiva, sabor, y olor.	Blanqueo de papel y textiles; cohetería; síntesis de resinas; preparación de penicilina; gas, coque, y fabricación de alquitrán; y manufactura de tintes y químicos.
Formas iónicas: Fe, Ca, Mg, Mn, Cl, y SO ₄	Características del agua cambiadas: tintura, dureza, salinidad, e incrustaciones.	Metalurgia, fabricación de cementos, cerámicas, y bombeo de pozos de aceite.
Agentes oxidantes y reductores: NH ₃ , NO ₂ , NO ₃ , S ⁻ , y SO ₃	Balances químicos alterados, desde una depleción rápida de oxígeno a sobre nutrición, olores, y crecimientos microbianos selectivos.	Fabricación de gas y coque, plantas de fertilizantes, manufactura de explosivos, tintura y fabricación de fibras sintéticas, despulpado de madera, y blanqueo.
Evidente a la vista y el olfato	Sólidos espumantes, flotantes, y cuajados; olores; depósitos inferiores anaerobios; aceites, y grasas; y heridas de peces y aves acuáticas.	Desperdicios de detergentes, curtido, procesamiento de carnes y alimentos, molinos de azúcar de remolacha, molinos de lana, avicultura, y refinería de petróleo.
Organismos patógenos: <i>B. anthracis</i> , <i>Leptospira</i> , hongos y virus.	Infecciones en humanos, infección de ganados, enfermedades de plantas de irrigación contaminada con hongos y riesgo para humanos.	Desechos de mataderos, procesamiento de lana, crecimiento de hongos en áreas de tratamiento de desechos, y aguas de desechos de procesamiento de productos avícolas.

(Liu, 1999)

Tabla No. 22. Importantes contaminantes del agua residual basados en efectos potenciales y preocupaciones sobre su tratamiento.

Contaminante	Razón de importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas cuando el agua de desecho es descargada a un ambiente acuático,
Orgánicos biodegradables	Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos, y grasas, los orgánicos biodegradables se miden normalmente en términos de BOD y COD. Si se descargan al medio ambiente sin tratar, su estabilización biológica puede agotar fuentes naturales de oxígeno y causar condiciones sépticas.
Patógenos	Enfermedades transmisibles se pueden transmitir por organismos patógenos en el agua de desecho.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbón, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se descargan a un ambiente acuático, los nutrientes pueden llevar al crecimiento de vida acuática no deseada. Cuando se desechan en cantidades excesivas en tierra, pueden llevar a la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes de prioridad	Los contaminantes pueden incluir compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados a partir de su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad, o toxicidad aguda alta, conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas de desecho.
Orgánicos refractarios	Estos orgánicos tienden a resistir el tratamiento convencional de agua de desecho. Algunos ejemplos típicos incluye: surfactantes, fenoles, y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados generalmente se agregan al agua de desecho en actividades comerciales o industriales y pueden ser removidos si el agua de desecho será reutilizada.
Inorgánicos disueltos	Los componentes inorgánicos como calcio, sodio, y sulfato se agregan al suministro original de aguas domésticas como resultado del uso de agua y se deben remover si se busca reutilizar el agua.

(Liu, 1999)

R. Gestión ambiental en la empresa.

El desarrollo sostenible se establece como un concepto universal para “satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Van Hoof, 2008). Este concepto se basa

en el balance de tres elementos: el ambiental, el económico y el social. En el aspecto ambiental se pueden incluir elementos como: la calidad y disponibilidad del aire, agua, tierra y el acceso a biodiversidad (Van Hoof, 2008).

La problemática ambiental se relaciona a los impactos que son generados por los sectores productivos. Dentro de las principales causas de aceleración de los problemas ambientales se puede mencionar el aumento de la población, la pobreza, urbanización y aumentos en los patrones de consumos. La deficiente disposición de todo tipo de residuos sólidos ha causado a través de los años un impacto negativo de los sistemas hidrobiológicos y una alteración de la calidad de agua y del suelo. Esta problemática ambiental tiene consecuencias económicas. El análisis de la problemática ambiental se debe considerar que su concepción consta de una agrupación de categorías de impactos, afectaciones y problemas interrelacionados (Van Hoof, 2008).

La capacidad empresarial se puede definir como el desempeño de un negocio frente a factores como competitividad, nivel de formalización de una gestión ambiental, rentabilidad de la empresa nivel de cumplimiento legal, capacidad de innovación, mejora continua y manejo del capital humano. La problemática ambiental asociada al sector productivo tiene relación con el nivel de gestión empresarial del mismo, el cual refleja su capacidad para atacar dicha problemática. La adopción de gestión ambiental empresarial depende de diversas fuerzas, entre las cuales se puede mencionar tendencias del mercado y políticas gubernamentales. Esta problemática ha llevado al desarrollo de instrumentos para promover la gestión ambiental en el sector productivo (Van Hoof, 2008).

1. Costos de ineficiencia. La contaminación proveniente de los procesos productivos es el resultado de un manejo ineficiente de los insumos de producción, tales como la materia prima, energía, agua y otros aditivos y los costos de manejo de dichos insumos. Se puede incurrir también en costos de oportunidad por la falta de aprovechamiento de los materiales, productos y subproductos desperdiciados, el pago de multas o sobretasas causadas por la contaminación. El cálculo de los costos de ineficiencia se basa en identificar y asignar los costos que se incurren en el manejo ambiental, y los factores que los causan (Van Hoof, 2008).

La contabilidad ambiental incluye actividades relacionadas con los procesos de identificación, acumulación, análisis, preparación, interpretación y comunicación de información financiera para la toma de decisiones gerenciales vinculadas a los costos del

manejo ambiental dentro de la empresa. Existen diversas categorías de costos ambientales, las cuales son (Van Hoof, 2008):

- a. Costos ambientales convencionales: Asociados al uso excesivo de materia prima, utilidades, bienes de capitales, no son contabilizados en sistemas contables tradicionales (Van Hoof, 2008).
- b. Costos ambientales potencialmente escondidos: Asociados a actividades relacionadas a manejo responsable del ambiente de trabajo y residuos que causa la actividad de la empresa, diseño e instalación de facilidades de manejo o tratamiento de residuos y pruebas para la caracterización química de los residuos (Van Hoof, 2008).
- c. Costos de contingencia: Relacionados al manejo ambiental en la empresa que pueden ocurrir en el futuro, compensaciones, infracciones y costos relacionados con la seguridad industrial (Van Hoof, 2008).
- d. Costos de imagen y relaciones ambientales: Relacionados con la disminución de ingresos causados por pérdida de imagen debido a inadecuado manejo ambiental, no son tan tangibles ni fáciles de identificar y cuantificar. Costos asociados con manejo de imagen corporativa relacionados con el tema ambiental (Van Hoof, 2008).
- e. Costos ambientales sociales: Causados por actividad empresarial al medio ambiente y la sociedad por los cuales la empresa no es legalmente responsable, conocidos también como externalidades (Van Hoof, 2008).

Existen diversas maneras en las que se puede definir la eficiencia, una forma es el grado de aprovechamiento de los recursos necesarios para producir un producto o servicio. Con esta definición en mente los costos de ineficiencia son los gastos no necesarios para obtener los mismos beneficios. Otra perspectiva, define la ineficiencia en términos de desperdicios, residuos, desechos o pérdidas que se tienen a lo largo del proceso de producción. Los costos de ineficiencia involucran costos de falta de calidad relacionada a pérdidas en la producción de un producto no especificado y aquellos que están involucrados en el manejo ambiental de los desperdicios (Van Hoof, 2008).

Entre los costos relacionados con la falta de calidad se encuentra la pérdida en materia prima, pérdida en hora/maquinaria, pérdida en mano de obra operativa y pérdidas de ingresos potenciales por aprovechamiento del material/producto desperdiciado. Entre los costos relacionados con el manejo ambiental de los desperdicios se encuentran gastos en mano de obra dedicada al manejo de desperdicios, gasto en recolección del desperdicio, gasto en disposición de los desperdicios, gasto en infraestructura para el

tratamiento especial de los desperdicios, gasto en la caracterización de los desperdicios, gasto en administración asociada a los desperdicios y pérdidas vinculadas a la imagen y competitividad de la empresa por mal manejo o generación no controlada de desechos (Van Hoof, 2008).

S. Compuestos químicos en los sólidos residuales.

1. Dióxido de silicio (SiO_2). Conocido también como sílica. Cristales o polvo amorfo transparentes, sin sabor. Se derrite a un vidrio. La sílica tiene el coeficiente de calor por expansión más bajo de cualquier sustancia conocida. Es prácticamente insoluble en agua o ácidos, excepto en ácido fluorhídrico en el que sí se disuelve formando el gas tetrafluoruro de silicio; también puede ser disuelto lentamente por ácido fosfórico concentrado. Las formas cristalizadas de sílica son levemente atacadas por álcalis, mientras que el polvo amorfo es soluble (O'Neil, 2006).

Algunos riesgos potenciales de la exposición al dióxido de silicio son la irritación de los ojos y neumoconiosis. Síntomas de exposición a sílica cristalina como polvo respirable son: tos, disnea, respiración con silbido; disminución en las funciones pulmonares, síntomas respiratorios progresivos (O'Neil, 2006).

Usos: Manufactura de vidrio, refractarios, abrasivos, cerámicas, esmalte; aceites de decolorización y purificación, productos de petróleo; en compuestos de pulverización, ferrosilicón, moldes de fundición; agente anti-tortas y de remoción de espumas (O'Neil, 2006).

El dióxido de silicio es un insecticida y un acaricida, se utiliza en control de insectos, ácaros, y garrapatas, en sitios internos y externos. El dióxido de silicio es un polvo que se aplica a granos almacenados, alimentos, comida de animales, y ornamentales; en áreas de manejo de comida; y a mascotas y su área de vivienda. El dióxido de silicio es una tierra diatomea, un material natural que está compuesto de caparazones de algas diminutas de una célula. El dióxido de silicio es un material natural, omnipresente, e inerte en el medio ambiente. No hay evidencia que el uso de este material como pesticida presente un riesgo a organismos para los que no va destinado, o el medio ambiente. Es poco probable que el dióxido de silicio reaccione químicamente con cualquier sustancia natural en el medio ambiente (EPA, 1991).

2. Óxido férrico (Fe_2O_3). El color y la apariencia del óxido férrico dependen de la forma y el tamaño de las partículas y de la cantidad de agua combinada. Algunos síntomas potenciales de la exposición a polvo y humos puede causar neumoconiosis (O'Neil, 2006).

Usos: como pigmento de hules, pinturas, papel, linóleo, cerámicas, y vidrio; en la pintura para trabajos de acero, cascos de barcos; como agente pulidor de vidrio, metales preciosos, diamantes; en resistencias y semiconductores eléctricos; en imanes, cintas magnéticas; como catalizador (O'Neil, 2006).

En aguas frescas el hierro es un nutriente importante para algas y otros organismos. Debido a su abundancia en la corteza de la tierra, el hierro es omnipresente en todos los ecosistemas de agua frescas y a menudo llega a concentraciones más altas en agua y sedimentos que otros metales. Las altas concentraciones de hierro en aguas frescas se ha considerado como un problema desde hace tiempo. Causa la degradación de ecosistemas de ríos (Vuori, 1995).

3. Óxido de aluminio (Al_2O_3). Se encuentra en la naturaleza como los minerales: bauxita, bayerita, boehmita, corundio, diaspore, gibbsita. Es un polvo blanco cristalino. Tiene una dureza de 8.8 en la escala de Moh. Es un aislante eléctrico, tiene una resistividad eléctrica de 1.2×10^{13} ohms-cm a 300°C . Cuando se eleva la temperatura a más de 800°C se vuelve insoluble en ácido, y su gravedad específica aumenta de 2.8 a 4.0. Es insoluble en agua. Altamente higroscópico (O'Neil, 2006).

Algunos síntomas potenciales de sobre exposición por contacto directo son: irritación de ojos, piel, y sistema respiratorio. Usos: como adsorbente, disecante, abrasivo; como material de relleno para pinturas y barnices; materiales cerámicos, aislantes y resistores eléctricos, cementos dentales, vidrio, acero, joyería artificial; en recubrimientos metálicos; como catalítico de reacciones orgánica (O'Neil, 2006).

Cuando las sales de aluminio se agregan al agua, se hidrolizan, y en la fracción disuelta se puede formar monómero de aluminio. El monómero de aluminio puede afectar de forma negativa los organismos. El aluminio es tóxico para los peces, se adhiere a la superficie de las branquias de los peces; esta adherencia causa fallos respiratorios en los peces. La exposición a aluminio puede causar cambios en el balance iónico y regulación osmótica en invertebrados acuáticos (Environment Canada, 2010).

El pH del agua tiene un efecto significativo en la toxicidad del aluminio disuelto. Bajo condiciones ácidas, el aluminio es más tóxico en el rango de pH de 5.0 a 5.5; a medida

que el pH se vuelve más ácido, la toxicidad disminuye. El Comité de Desecho de Lodos de Canadá examinó el impacto de la disposición de lodos en ecosistemas acuáticos y concluyeron que los residuos tienden a acumularse cerca del punto de descarga, si la velocidad del agua es baja, y que podría tener efectos adversos, incluyendo el desarrollo de condiciones anaerobias. Impactos adversos de la descarga de lodos de aluminio a cuerpos de agua receptores incluye: formación de depósitos de lodos en áreas inmóviles del arroyo, efectos tóxicos en organismos acuáticos de contaminantes presentes en el lodo, aumento en las concentraciones de aluminio en fuentes de agua, y problemas estéticos donde el flujo de agua, niveles de turbidez, y dilución de lodos son bajos (Environment Canada, 2010).

4. Óxido de calcio (CaO). Son cristales, blancos o bultos de color blanco con gris, o un polvo granular; el material comercial puede tener un tinte color amarillo o café, por la presencia de hierro. El punto de fusión es a 2,572°C, y el punto de ebullición es a 2,850°C. Absorbe dióxido de carbono y agua del ambiente. Es soluble en agua, forma Ca(OH)_2 y genera calor (reacción de disolución es exotérmica); soluble en ácidos, glicerol, solución de azúcar; prácticamente insoluble en medio alcalino. Algunos síntomas potenciales de sobreexposición son irritación de ojos, piel, tracto respiratorio superior; ulceración o perforación del septo nasal; neumonía; dermatitis (O'Neil, 2006).

Usos: En fabricación de ladrillos, plasta, mortero, estuco, y otros materiales de construcción; manufactura de acero, aluminio, magnesio, y flotación de oros no ferrosos; manufactura de vidrio, papel, Na_2CO_3 , sales, y otros químicos industriales; clarificación de jugo de caña y remolacha; en fungicidas; insecticidas, fluidos de perforación, lubricantes; tratamiento de agua y aguas residuales; en laboratorio para absorción de CO_2 (O'Neil, 2006).

5. Óxido de potasio (K_2O). Conocido comúnmente como potash. Es un álcali altamente corrosivo, cuando se disuelve en agua forma potash cáustico (Meister, 2001).

El potasio se conoce como un factor nutriente menor ya que contribuye nutrientes a las plantas en el agua. Las algas verdes se alimentan de dicho nutriente y la energía se pasa a los animales acuáticos cuando éstos consumen las algas. La disponibilidad del potasio en cantidades adecuadas en el agua es necesaria para las algas verdes (el productor de energía primario), estas hacen que el ecosistema acuático sea rico para la sobrevivencia y crecimiento de vida acuática. Sin embargo, altas concentraciones de

potasio en el agua podría tener un efecto negativo en la vida acuática, especialmente en peces y animales. Dado que el potasio es un nutriente de plantas, su concentración alta en cuerpos de agua llevaría a un estado de eutrofización porque el potasio no se puede remover fácilmente de las aguas. Esto lleva a un incremento rápido del crecimiento de algas verdes y descomposición por bacteria. La acumulación del nutriente lleva a un crecimiento en la población de alga fotosintética y cianobacteria; la masa de alga y bacteria se vuelve tan densa que evitan que la luz penetre el agua. Niveles altos de potasio en agua llevan a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno. El oxígeno lo utiliza la bacteria en descomposición, dejando poco o nada para los peces y otros animales acuáticos (Ekong, 2011).

6. Óxido de sodio (Na_2O). Piezas amorfas o polvo de color blanco. Tiene una densidad de 2.27. Se funde con calor rojo opaco, y se empieza a descomponer a temperaturas menores de 400°C , para formar peróxido de sodio y metal. Es muy reactivo y se combina de forma violenta con agua, formando hidróxido de sodio. En el manejo no se debe tocar con las manos (O'Neil, 2006).

Usos: Agente deshidratante; en ciertas reacciones químicas se puede usar como agente polimerizante o condensante (O'Neil, 2006).

7. Pentaóxido de difósforo (P_2O_5). Cristales altamente delicuescentes, corrosivo. Existen varias modificaciones cristalinas y amorfas. La forma comercial es hexagonal, con una densidad de 2.30. El punto de fusión es de 230°C , la temperatura de sublimación es 360°C . No es inflamable. Se da una reacción exotérmica cuando se realiza hidrólisis con agua. Es un irritante fuerte. Es corrosivo para la piel, membranas mucosas, y los ojos. Usos: Agente secante y deshidratante. Agente condensador en síntesis orgánica (O'Neil, 2006).

El exceso de fósforo en sistemas acuáticos puede resultar en crecimiento abundante de plantas acuáticas. Esto puede llevar a un cambio en la composición del ecosistema de unas especies de peces e invertebrados a especies menos deseadas, incluyendo aquellas tolerantes a la contaminación que pueden ser especies invasoras. Bajo las condiciones que se crean (mayor concentración de nutrientes y elevación de la temperatura), la cianobacteria que es potencialmente tóxica puede crecer. El aumento de esta bacteria puede causar un sabor y olor desagradable del agua. Algunas de estas bacterias descargan toxinas al agua que pueden presentar riesgos de salud a humanos y

animales. Las algas y plantas en descomposición pueden tapar tuberías, y reducir el valor estético y recreacional de los ecosistemas acuáticos. Además la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se reduce, lo que causa muerte a peces y otros animales acuáticos (Environment Canada, 2009).

8. Dióxido de titanio (TiO_2). Polvo blanco, con un punto de fusión de $1,855^\circ\text{C}$. Es insoluble en agua, HCl , HNO_3 , o H_2SO_4 diluido. La reactividad depende del tratamiento previo con calor; la exposición prolongada al calor le reduce la solubilidad. La exposición prolongada al dióxido de titanio puede causar fibrosis pulmonar, y es considerado como un cancerígeno (O'Neil, 2006).

Usos: La ilmenita es utilizada en manufactura de pigmentos; la arena Rutile sirve para materiales de recubrimiento de soldadura, como colorante cerámico, como fuente de titanio. Sirve como color en la industria alimenticia. El dióxido de titanio sirve en coberturas de soldadura, esmaltes vítreos resistentes a ácido, en especificación de pinturas, rayón de acetato, esmaltes de secado natural, tintes y plásticos, para llenado de papel, en pinturas de agua, en blanqueadores de zapatos, y en cerámicas (O'Neil, 2006).

9. Óxido de cromo (III) (Cr_2O_3) Son cristales finos hexagonales, de color verde oscuro. Tiene un punto de fusión de aproximadamente $2,435^\circ\text{C}$, y un punto de ebullición de $3,000^\circ\text{C}$. Al calentarse se pone de color café, pero regresa a color verde al enfriarse. El cristal Cr_2O_3 es extremadamente duro; puede rayar cuarzo, topacio y circón. Es prácticamente insoluble en agua, acetona, medio alcalino. Ligeramente soluble en ácidos y álcalis (O'Neil, 2006).

Síntoma potencial de la exposición al óxido de cromo es la irritación de la piel. Usos: en abrasivos, materiales refractarios, semiconductores eléctricos; como pigmento, particularmente en la coloración o tinte de vidrio; en aleaciones; en impresión de telas o notas bancarias; como catalítico de reacciones orgánicas e inorgánicas (O'Neil, 2006).

10. Óxido de manganeso (MnO). Polvo de color negro - café. Insoluble en agua. Soluble en ácido clorhídrico con evolución de cloro. Síntomas potenciales de sobreexposición incluye: astenia, insomnio, confusión mental; dolor en espalda baja, vómitos, malestar, fatiga; daño a los riñones, neumonitis (O'Neil, 2006).

T. Uso de los sólidos residuales.

1. Agricultura. La aplicación al suelo se refiere a la reutilización de los biosólidos, e incluye todas las formas de aplicación de los mismos para usos benéficos en tasas agronómicas. Para satisfacer la cantidad de nitrógeno, fósforo o potasio que el suelo requiere para un cultivo o vegetación minimizando la utilización de los fertilizantes sin afectar la zona radicular de los cultivos/vegetación. Existen varias regulaciones, pero todos concuerdan en lo mismo de que existen dos niveles de calidad para los biosólidos en las cuales se respeta la alta concentración de metales pesados y dos niveles para la calidad respecto a las densidades de patógenos. Los lodos clasificados como Clase A y Clase B son los lodos dependiendo de sus concentraciones de metales pesados y patógenos es utilizable en el suelo para cultivos y vegetación.

La clase A es de uso no restringido y la clase B es de uso restringido esto quiere decir que los lodos clase A pueden ser utilizados para abonar los campos agrícolas en los que se siembre cualquier tipo de cultivo. Por lo contrario, los lodos clase B sólo pueden ser utilizados para abonar cultivos de tallo largo en los que la parte aprovechable del cultivo no este en contacto con el suelo que es abonado con el lodo.

La idea de considerar el lodo como un desecho y llevarlo a un relleno sanitario ha sido gradualmente abandonada en muchos países, actualmente sea cambiado el manejo del lodo hacia el aprovechamiento, considerándolo no como un residuo, sino como una fuente de recursos para el suelo. El uso del lodo en agricultura es importante debido a que los lodos municipales tienen un gran contenido de nutrientes y materia orgánica. Por otra parte la problemática del campo acerca del empobrecimiento del suelo por el uso agrícola intensivo, muestra al lodo como una alternativa para su uso en el acondicionamiento de suelo. Otra problemática que el uso del lodo puede ayudar a contrarrestar es la relacionada a la explotación de suelos forestales, utilizados para la producción de especies ornamentales en viveros.

El aprovechamiento del lodo es la acción de depositar de manera permanente lodos residuales en forma tal que se evite provocar daños al ambiente. Si el lodo recibió un tratamiento y cumple con las características establecidas en la Tabla No. 23 y Tabla No. 24 entonces se puede aplicar como un biosólido en suelos agrícolas o forestales.

Tabla No. 23. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos o biosólidos.

Clase	Patógenos		Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g	Salmonella sp NMP/g	Huevos de helminto/g
A	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
B	Menor de 2,000	Menor de 300	Menor de 35

(Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001, Protección Ambiental – Lodos y Biosólidos)

Tabla No. 24. Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos o biosólidos.

Contaminantes	Clase A {mg/kg} de lodo en base seca	Clase B {mg/kg} de lodo en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2,800	7,500

(Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001, Protección Ambiental – Lodos y Biosólidos)

Tabla No. 25. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos.

Contaminante	Aplicación al Suelo {mg/kg} a 104°C
Arsénico	50
Cadmio	50
Cromo	1,500
Mercurio	25
Plomo	500

(Acuerdo gubernativo 236-2006 Capítulo VIII Parámetros para lodos)

Para el aprovechamiento agrícola del lodo se recomienda darle un tratamiento de estabilización y remoción de contaminantes, así como también se recomiendan su

deshidratación para reducir su volumen y facilitar su manejo. Los sistemas de deshidratación más comunes son lechos de secado, filtros prensa y centrífugas. Los tratamientos de estabilización más usuales son: la digestión aerobia, anaerobia y alcalina. Con estos sistemas de tratamiento podemos obtener lodos de Clase B, para uso restringido para obtener lodos Clase A, se debe tener un proceso termofílico, como: digestión aerobia y anaerobia termofílicas o composteo, los cuales tienen que ser operados con temperaturas mayores a 55°C.

Existe otro método, el vermicomposteo, que es el uso de lombrices para estabilizar la materia orgánica. Las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* comen el lodo residual y producen un residuo conocido como vermicomposta. Mediante este proceso es posible reducir a 100% los patógenos presentes en el lodo (Aguilar, 2003) (CAPAC, 2010).

2. Relleno sanitario. Actualmente el uso de lodos para rellenos sanitarios tiene la mínima prioridad en la jerarquía de residuos y es utilizado solamente cuando no se dispone de otras maneras de uso de los lodos existentes. Para un relleno sanitario se utilizan los lodos denominados “Estabilizados”, que el objetivo de la estabilización del lodo es, reducir en forma significativa el contenido de microorganismos patógenos, eliminar olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción (Señoret, 2010).

3. Compostaje. El composteo es la descomposición biológica del material orgánico y puede llevarse a cabo en fase aerobia o anaerobia. La mayoría de las operaciones de composteo de lodos buscan mantener condiciones aerobias ya que el composteo anaerobio es acompañado por olores desagradables que no ocurren bajo condiciones aerobias. El composteo aerobio es termofílico, la temperatura del proceso está en el rango de pasteurización (50 a 70°C), y destruye organismos patógenos. Una ventaja del producto final del composteo es que puede usarse como acondicionador de suelos.

El composteo tiene tres objetivos principales: el primero es convertir la materia orgánica putrefacta a formas estabilizadas, el segundo es la eliminación de patógenos lo que se logra por el incremento de temperatura durante la descomposición de la materia orgánica; y el tercero es la reducción de volumen de lodo. Para el composteo se requiere un material acondicionador para proporcionar estructura y porosidad al lodo y permitir que se lleve a cabo el proceso en condiciones aerobias. La composta es un material muy atractivo para re utilizar en la agricultura debido a su alto contenido de materias orgánicas estabilizadas y nutrientes.

Los sistemas de composteo aerobio pueden diferir en apariencia, pero todos incluyen las siguientes etapas:

- Mezclado de lodos: El lodo se mezcla con un material acondicionador como el bagazo de caña, pedacería de madera u otros materiales orgánicos y porosos, con el fin de dar estructura y porosidad para permitir la correcta aeración, aumentar el contenido de sólidos un 40% y aumentar la relación carbono nitrógeno a 30:1 o 40:1, por lo que estos materiales deben de ser ricos en carbono ya que el lodo es rico en nitrógeno. El mezclado del lodo con el material acondicionador debe ser lo más homogéneo posible para que la reacción de digestión sea rápida, también influye el tamaño de las partículas del material acondicionador las cuales no deben ser mayores a 15cm. Para el composteo se debe utilizar lodo deshidratado (usualmente de 15 a 25% de sólidos). (Robles, 2006)
- Digestión aerobia termofílica: En esta etapa se realiza la estabilización del lodo por medio de microorganismos termofílicos que elevan la temperatura por encima de los 60°C, provocando la destrucción de organismos patógenos. Las condiciones aerobias se mantienen mediante aeración mecánica volteando la mezcla periódicamente con un cargador frontal, o bien, con la inyección de aire por medio de un ventilador y un difusor instalado por debajo de la pila. La duración de esta etapa para los lodos residuales es de 21 días. (Robles, 2006)
- Curado: Consiste en quitar la mezcla del área de composteo y llevarla a otro sitio donde la composta permanecerá en reposo, no requiere de aeración, las temperaturas iniciales son de más de 40°C, para posteriormente estabilizarse y mantenerse en temperaturas ambiente. Esta etapa asegura la completa estabilización de la composta y la remoción de tóxicos orgánicos. La duración del curado es de 30 días. (Robles, 2006)

Principales factores para una operación exitosa: La bioconversión del lodo en compuestos orgánicos estables durante el composteo se ve afectada por la humedad, el tamaño de las partículas, la temperatura, el pH, la relación carbono-nitrógeno y la aeración.

- Humedad: Para asegurar un proceso adecuado, la mezcla lodo-material acondicionador deberá tener un porcentaje de humedad no mayor del 60%. Si se

rebasa el límite de humedad, los poros en la mezcla son ocupados por agua que interfiere en la difusión del aire, esto provoca anaerobiosis, bajas temperaturas y mal olor. Cuando se elabora el balance de masas se debe asegurar una correcta combinación de materiales húmedos y secos. Una forma de reducir el contenido de humedad consiste en poner a secar los materiales acondicionadores a la intemperie unos días antes del mezclado, cuando las condiciones ambientales lo permitan, después es conveniente volver a analizar el contenido de humedad (Robles, 2006).

- Tamaño de partículas, porosidad y densidad de la mezcla: El tamaño de las partículas, la porosidad y densidad de la mezcla en composteo es importante debido a que puede afectar la correcta difusión del oxígeno. Una manera práctica de obtener una mezcla homogénea es asegurar que el tamaño de las partículas que entran en proceso no sea mayor de 10-15cm, para lograr esto es necesario desmenuzar el material en forma mecánica con un molino de martillos. La densidad de la mezcla es la medida de las partículas sólidas de la mezcla y el espacio vacío, por donde circulan el oxígeno y otros gases derivados de la degradación. Para tener un control efectivo de la porosidad de la mezcla se debe medir su densidad y no debe ser mayor de 0.6ton/m^3 (Robles, 2006).
- Temperatura: La temperatura influye en la velocidad del desarrollo (tasa de crecimiento) de las poblaciones microbianas que degradan la materia orgánica. Por otro lado, la temperatura elevada junto con un elevado grado de humedad es uno de los métodos más efectivos para destruir patógenos. El calor húmedo mata las células porque coagula sus proteínas y es más rápido y efectivo que el calor seco, que las destruye al oxidar sus constituyentes químicos. Durante el proceso de composteo la diversidad de especies microbianas, presentes en la pila, tienen una distribución temporal, en la etapa inicial se registran temperaturas entre 25 y 40°C y predominan los microorganismos mesofílicos. En la etapa termofílica, cuando ocurre la mayor remoción de patógenos, se encuentran poblaciones de actinomicetos y bacterias termofílicas, la temperatura si no se controla, puede llegar hasta 80°C y las poblaciones empiezan a decaer. Es necesario mantener la temperatura, por medio de ventilación, en un intervalo de 45 a 55°C óptimo para el desarrollo de los organismos termofílicos. Después de la etapa termofílica, las temperaturas descienden a menos de 40°C, y tienen lugar otra degradación

mesofílica: el curado que da estabilización adicional a la materia orgánica. La medición de temperatura se debe realizar diariamente. La longitud de los termopares debe ser de por lo menos 1 metro para obtener registros del interior de la pila (Robles, 2006).

- Relación carbono – nitrógeno: La descomposición de los materiales en la pila está limitada por la cantidad de carbono y nitrógeno, o expresada por su relación C/N. La relación que se recomienda para el inicio del composteo es de 30:1 a 40:1). Esta relación se debe a que se sabe que los microorganismos necesitan de 30 a 40 partes de carbono para degradar 1 parte de nitrógeno (Robles, 2006).
- pH: El composteo más eficiente se hace a un pH de 5 a 8, ya que la mayor parte de los microorganismos tienen actividad y crecimiento óptimos en este intervalo. Sin embargo, con pH menores que 5 o mayores que 11, sólo se retardará el proceso durante unos días, debido a que el proceso tiene a la neutralidad. Durante la fase inicial de descomposición se forman ácidos orgánicos, lo que ayuda a la acidificación de la mezcla, se favorece así el crecimiento de hongos y otros microorganismos. Se inicia también el rompimiento de moléculas complejas como la celulosa y lignina. Con el desarrollo del proceso los ácidos orgánicos se neutralizan; la composta madura y tiene un pH entre 6 y 8 (Robles, 2006).
- Aeración: Uno de los factores que favorecen el composteo es el oxígeno disponible para los microorganismos que realizan el trabajo de descomposición. La deficiencia provoca condiciones anaerobias y estabilización incompleta de los materiales orgánicos. El oxígeno usado durante el composteo por los microorganismos, es sólo del 5 al 15% para llevar a cabo la digestión orgánica y poder elevar así la temperatura. La aeración por ventilación es el tipo de aeración que se proporciona individualmente para cada pila, en el caso que se haga un pila extendida esta se divide en celdas que son aireadas individualmente, con el propósito de que el aire llegue a toda la mezcla y se puedan controlar mejor las condiciones aerobias. La aeración que se proporciona es intermitente de acuerdo a ciclos de ventilación distribuidos en una hora. Los ciclos van de más a menos de acuerdo al tiempo de degradación y a las temperaturas registradas, es decir que cuando comienza el proceso termofílico los ciclos son más continuos y al final los tiempos de encendido son más distantes uno de otro. Para un lodo residual municipal los ciclos de ventilación son de 20 a 30 minutos. El sentido de la

ventilación puede ser positivo o por inyección y negativo o por succión. Positivo o por inyección, consiste en que el aire va del ventilador hacia la pila, de donde pasa a través de la mezcla y sale hacia la superficie. Negativo o por succión, el aire es succionado de la superficie, penetra a través de la mezcla y es conducido por los difusores hacia una tubería que está conectada a un biofiltro. Los ciclos de ventilación se controlan a través de relojes o timers, en los que se programan los tiempos de encendido y apagado. Aeración por volteo de la pila o camellón, ésta se lleva a cabo por medio de un cargador frontal. Al igual que en la pila estática, la aeración es más intensa en los primeros días del proceso, de tal manera que en el primer mes las pilas deban voltearse por lo menos dos veces por semana e ir prolongándose los tiempos de volteo conforme se vaya estabilizando el material. Cada pila debe mantener su individualidad, sin mezclar su material con el de otras pilas (Robles, 2006).

4. Incineración. Es el proceso de estabilización de sólidos más completa, ya que oxida completamente toda la materia orgánica, el olor es eliminado y los patógenos destruidos. En este proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.

Materia orgánica \rightarrow CO₂ + H₂O + Subproductos inofensivos.

(García, 2006)

5. Combustible. Es el proceso de utilizar los lodos residuales previamente secados como fuente de combustible, ya que toda la materia orgánica que poseen al quemarse produce energía, la cual puede ser aprovechada como combustible de calderas acuotubulares. La capacidad calorífica de los lodos es una forma menos formal de energía. En las tablas siguientes se puede observar los diferentes tipos de combustibles y el poder calórico que poseen (Gutiérrez, 2010).

Tabla No. 26 Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas.

COMBUSTIBLE	PODER C. MEDIO kJ/kg
Bagazo húmedo	10500
Bagazo seco	19200
Cáscara de cacahuete	17800
Cascarilla de arroz	13800
Celulosa	16500
Corteza escurrida	5900
Cosetas de caña	4600
Madera seca	19000
Madera verde (*)	14400
Paja seca de trigo	12500
Paja seca de cebada	13400
Serrín húmedo	8400
Viruta seca	13400
	P. C. SUPERIOR kJ/kg
Cáscara de almendras	36800
Cáscara de nueces	32000
Cáscara de arroz	15300
Cáscara de pipa de girasol	17500
Cáscara de trigo	15800
Corteza de pino	20400
Corcho	20930
Orujillo de aceituna	17900
Orujo de uva	19126
Papel	17500
Jara (8% humedad)	18900 (P.C.I.)

(Gutiérrez, 2010)

Tabla No. 27. Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos.

Combustible	Densidad media kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Turba	360	21300	22500	Aglomerados de carbón	31300	35600
Lignito	1050	28400	29600	Carbón de madera	31400	33700
Hulla	1350	30600	31400	Coque	29300	33700
Antracita	875	34300	34700	Coque de petróleo	34100	36500

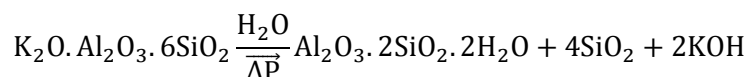
(Gutiérrez, 2010)

6. Arcillas. Tradicionalmente las arcillas han sido catalogadas como una materia prima de tipo cerámico, a pesar de una escasez se ha realizado su importancia geológica y económica en una variedad de industrias que ha resultado en una amplia y compleja tecnología, dispersa y con frecuencia ambigua. Las arcillas tienen un origen y una clasificación la cual se explicara a continuación.

Las arcillas pueden ser clasificadas en primarias y secundarias para pasar a distinguir entre caolines, barros plásticos, montmorrillonitas y otras establecidas por la tecnología, indicando las propiedades características de cada grupo. Se presenta la clasificación de los minerales arcillosos basada en el concepto cristalográfico de la unidad estructural que

distingue entre minerales dioctahédricos y trictahédricos y grupos 1:1, 2:1 (2:1):1 así como un sistema que por difracción de rayos X y técnicas simples de adsorción, análisis químico y tratamientos térmicos simples permite la clasificación mineralógica completa. Otras técnicas analíticas son comentadas como el empleo y características de las arcillas en las industrias cerámicas de papel, hule, petróleo, síntesis orgánicas, fundición, ingeniería civil y otras varias (Pablo, 2012).

La arcilla es una asociación de silicatos complejos hidratados de aluminio fino, con tamaño de partícula que, es húmeda, plástica y seca, dura y quebradiza. Es abundante en la naturaleza y es constituyente de la corteza terrestre. La arcilla es una asociación de minerales arcillosos (silicatos complejos hidratados de aluminio), de pequeño tamaño de partícula originada por la alteración hidrotermal de rocas ígneas (granitos, riolitas, dioritas, basaltos) y de otros minerales como cuarzo, feldespatos, plagioclasas, piroxenas, rutilo, limonita y materia orgánica, que bajo condiciones propias de presión, temperatura, acidez, etc., desilicifican a minerales arcillosos sílice libre y alcalies que se lixivian según la conocida reacción.



La alteración es hipogénica si es debajo de la superficie y epigénica, si es en ella. La naturaleza de la roca y el proceso de alteración fijan las características de los minerales que se forman, definiendo su estructura y composición química. Así, rocas o condiciones ácidas producen minerales como caolinita mientras que medios básicos forman montmorillonita o talco. En general, el origen de la mayor parte de los minerales arcillosos ha sido establecido pero, para los propósitos actuales, basta indicar que se forman a temperaturas menores de 450°C y presiones elevadas. La clasificación de las arcillas, desde un punto de vista geológico, es simple; entre estas se diferencian (1) fluviales, depositadas por ríos y siendo generalmente depósitos pequeños de baja calidad; (2) lacustres, asentados en lagos y estando en capas uniformes de buena calidad; (3) marinas, que son más uniformes que las anteriores; (4) en deltas, que son arenosas y de composición irregular; (5) glaciales, formadas por la acción de grandes masas de hielo sobre rocas cristalina y (6) eólicas (Pablo, 2012).

- a. Caolín, Arcillas “China”, blanca o para papel. Son arcillas residuales, in situ, originadas por alteración hidrotermal, hipogénica o epigénica, de rocas ígneas

ácidas (granitos, dioritas, riolitas). Durante la alteración, feldespatos alcalinos son atacados por soluciones líquidas o vapores ácidos, a presiones y temperaturas moderadamente elevadas, para formar caolinita, sílice libre y alcalies solubles. La alteración también ocurre en condiciones atmosféricas.

Siendo depósitos primarios, su mineralogía es derivada de la roca original e incluye caolinita, cuarzo y mica, en proporciones 80 a 100% de caolinita, menos de 30% de cuarzo y menos del 10% de mica. Este tipo de arcilla es refractaria, con un cono paramétrico 33 a 35, bajo módulo de ruptura en verde (menor de 100 Kg/cm²) análisis químico próximo al teórico de caolinita de 46.5% SiO₂ y 39.6% Al₂O₃; acidez entre 4.5 y 6, color blanco brillante si es de origen hipogénico o blanco opaco o crema si se formó por alteración epigénica, contracción al quemado de 8 a 12%, absorción al quemado de 10 a 20% brillo entre 65 y 88%, distribución de partícula de 80 a 100 menor de 10 micrones (Pablo, 2012).

b. Arcillas plásticas, bola o “Ball Clays”. Arcillas sedimentarias, de origen similar al de los caolines pero que, al contrario de estos, fueron acarreados a lugares distintos al de su formación. Por lo que son de menor tamaño de partícula y más plásticas que las arcillas “chinas”. Su composición se deriva de arcillosa pesada (clásticos de cuarzo, feldespato, roca sin alterar). Incluye caolinita (30 – 80%), hidrómica y/o montmorillonita (0 – 40%), cuarzo (0 – 50%), materia orgánica (0 – 8%) y escasos contenidos de feldespato, mica, rutilo y limonita. La caolinita es de cristalización ordenada y desordenada, placas hexagonales irregulares o regulares y reducido tamaño (80 a 100 menor de 10 micrones a 80 por ciento menor de 0.5 micrones). La materia orgánica es fina, coloidal o gel recubriendo las partículas de arcilla y contribuyendo notoriamente a mejorar su plasticidad. Son más silicosas que los caolines, teniendo desde 50 – 65% de SiO₂ y de 20 a 35% de Al₂O₃, con pequeños contenidos de alcalies, Fe₂O₃, TiO₂. Su color natural es café oscuro, gris, crema o negro. Son muy plásticas, cono pirométrico de 30 a 33, menor que el de los caolines y desarrollan módulos de ruptura hasta 700 lb/pulg² en verde y de 400 a 8000 lb/pulg² en quemado (Pablo, 2012).

c. Arcillas refractorias. Son de alto cono pirométrico, con punto de reblandecimiento superior a los 1600°C y compuestas de caolinita con pequeñas cantidades de cuarzo, mica, anatasa, rutilo y óxido de hierro. Analizan de 40 a 60% SiO₂, 25 a 40% Al₂O₃, 1 a 5 Fe₂O₃, menos de 4 MgO y CaO y menos de 3% de alcalies. Según su aspecto megascópico, se distingue entre (1) arcillas duras o “Flint”, compactas a masas duras como rocas, de fractura concoidal, (2) plásticas, que fácilmente se desintegran en agua a

una masa plástica y (3), pizarras o arcillas impuras compactadas en a una masa lamelar sin fractura concoidal (Pablo, 2012).

d. Arcillas de alta alúmina. Son arcillas con contenidos de alúmina superiores a 39.6% y cuya mineralogía incluye hidratos de aluminio (gibbsite, bohemita). Son de interés en las industrias de refractarios y cerámica (Pablo, 2012).

e. Arcillas de liga. Son plásticas, de fino tamaño de partícula, que mezcladas en pastas cerámicas o con otras arcillas más refractarias, proporcionan liga o unión entre las partículas para dar cuerpos resistentes y densos. También se usan con materiales no plásticos, arenas de cuarzo, para formar la mezcla moldeable de los moldes de fundición. Su composición es variable y su mineralogía incluye caolinita, desordenada o normal, montmorillonita e hidrómica de fino tamaño de partícula (Pablo, 2012).

f. Arcillas para ladrillos. Arcillas impuras, de mediana plasticidad, composición y mineralogía variable. Generalmente no son de color blanco y contienen hasta 5% de alcalies, 12% de alcalinotérreos y 8% de óxido férrico (Pablo, 2012).

g. Arcillas montmorilloníticas. Se diferencia entre tierras de Fuller y bentonitas. Las primeras son montmorillonitas magnésicas con poder de decoloración natural y las segundas, sódicas que aumentan su volumen con la absorción de fluidos, no decoloran y cálcicas que ni aumentan su volumen ni decoloran minerales. Su composición química incluye de 50 a 65% de SiO_2 , 10 a 25% de Al_2O_3 , hasta 4% de alcalies y 6% de alcalinotérreos. Se originan por alteración, en condiciones alcalinas, de roca volcánica (basaltos, vidrios) y algunas montmorillonitas sódicas, por precipitación química de aguas marinas. Su principal uso industrial es en decoloración y desodorización en procesos químicos, lodos de perforación, síntesis orgánicas y fundido de metales (Pablo, 2012).

h. Arcillas haloisíticas. Arcillas en las que el principal componente es haloisita. De composición química semejante pero más plásticas, mayor contracción y diferente cristalización que los caolines, con frecuencia asociadas a emanaciones sulfurosas. Son de interés en las industrias de refractarios, cerámica y de catalizadores de arcilla (Pablo, 2012).

i. Atapulgita. Arcillas en las que el componente mayor es el mineral atapulgita o paligorsquita de textura fibrosa, origen hidrotermal o sedimentario, derivadas de piroxenas o anfíbolos; análisis químico de 50 a 65% SiO_2 , 7 a 15% Al_2O_3 , 5 a 15% MgO y escasos FeO , Fe_2O_3 y CaO . Es de gran interés en la preparación de arcillas activadas y catalizadores para usos diversos (Pablo, 2012).

7. Límites de Atterberg. Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estado, se denominan límites de Atterberg. Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente (Szantó, 2010).

a. Límite líquido. Se refiere a humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje (Szantó, 2010). El límite líquido está definido, como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara, se separa con una herramienta patrón, se deja caer desde una altura de 1cm. y sufre el cierre de esa ranura en 1 cm. después de 25 golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar. Es por ello que se determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 g/cm^2 . La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 gramos y pasar completamente por el tamiz de 0.5 mm (Malla N°40 ASTM) (Szantó, 2010).

b. Límite plástico. Se refiere a la humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plásticos y semi-sólido, expresado en porcentaje (Szantó, 2010). Además, se define el índice de plasticidad (IP) como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 39 (Szantó *et al*, 2010)

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro de éste, se rompe o resquebraja al amasado presentando un diámetro de aproximadamente 3 mm. Esta prueba es bastante subjetiva, es decir, depende del operador, el cual debe ayudarse con un alambre u otro material de 3 mm de diámetro para hacer la comparación y establecer el momento en que el suelo se resquebraja y presenta el diámetro especificado.

c. Límite de contracción. Se define el límite de contracción como la humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no produce

disminución de volumen del suelo. Como se observa en los ensayos anteriores (LL y LP), con ellos se puede predecir la presencia potencial de cambios de volumen en el suelo que podrían provocar problemas posteriores. Sin embargo, para obtener una indicación cuantitativa de cuanto cambio de humedad puede presentarse, es necesario hacer el análisis del límite de contracción. El análisis comienza con un volumen de suelo que presente un estado de humedad entre la condición de saturación completa y la humedad cercana al límite líquido o superior. El suelo se deja secar, en cuyo proceso se supone que cualquier pérdida de humedad está acompañada por una disminución en el volumen global de la muestra. A partir de ese valor límite en el contenido de humedad, es posible producir cambios adicionales en el volumen del suelo debido a la pérdida adicional de agua de poros. El tamaño de la muestra de análisis debe ser de aproximadamente 30 gramos y deberá pasar completamente por el tamiz de 0.5 mm (Szantó, 2010).

U. Pruebas de resistencia – Ensayo de compresión simple.

Tiene por finalidad determinar la resistencia a la compresión no confinada “ qu ” (mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica o cubica en donde la resistencia no confinada se toma como la máxima carga alcanzada por unidad de área durante el ensayo. De igual manera se logra determinar lo que es la resistencia al corte “ qc ” la cual puede estimarse a partir de la resistencia a la compresión no confinada, este valor lo que representa es la resistencia al aparecer la primera ruptura del bloque a determinar.

$$qc = \frac{qu}{2} \left[\frac{lb, kg}{in^2, cm^2} \right]$$

Ecuación 40 (Terzaghi, 1973)

El ensayo de la compresión simple es un caso especial del ensayo triaxial, en el cual solamente se le aplica a la probeta la tensión longitudinal. Puesto que no es necesario el dispositivo para aplicar la presión lateral, y como, además la muestra no necesita estar envuelta en una membrana de caucho este ensayo se ha convertido en un ensayo sencillo de campo. El aparato es tan solo útil para ensayos rápidos sobre suelos predominantemente arcillosos que están saturados o casi saturados.

Como el ensayo de compresión simple en suelos arcillosos relativamente impermeables se efectúa realizando la mezcla con bastante rapidez. Como el ensayo de compresión simple es extraordinariamente fácil y barato de realizar. Según el valor de la

resistencia máxima a compresión simple, el suelo se puede clasificar del modo que se indica a continuación.

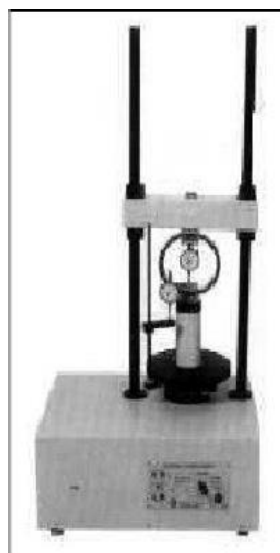
Tabla No. 28. Consistencia del suelo respecto su resistencia.

Consistencia del suelo	Resistencia al corte
Muy blando	< 0.25
Blando	0.25 – 0.50
Medio	0.50 – 1.00
Firme	1.00 – 2.00
Muy firme	2.00 – 4.00
Dura	>4.00

(P. R. Terzaghi K., Mécanica de Suelos)

El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un mecanismo de carga hidráulica para tener un control para proporcionar la carga al material. En lugar de una báscula de plataforma es común que la carga sea medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco. Para suelos cuya resistencia a la compresión no confinada sea menor de 1 kg/cm^2 el aparato debe de ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 0.01 kg/cm^2 , para suelos de resistencia no confinada de 1 kg/cm^2 (Terzaghi K., 1973).

Figura No. 24. Equipo de compresión simple.



(P. R. Terzaghi K., 1973)

V. Cultivo de milpa.

1. La milpa como agrosistema. La milpa data de tiempos prehispánicos y mantiene su vigencia hasta nuestros días. Aunque el término se aplica comúnmente a cualquier campo cultivado de maíz, en su sentido original la milpa es un lugar de cultivo de maíz en asociación con diversas plantas que se abre dentro de un ecosistema y reproduce muchas de las interacciones y principios ecológicos que en él se dan. Es en sí mismo un ecosistema agrícola sujeto a las limitaciones que cada región ecológica le impone y a intervenciones humanas que intentan compensar las deficiencias ecológicas y ampliar las posibilidades productivas. Las milpas han desempeñado un papel muy importante en el enriquecimiento de nuestra biodiversidad agrícola.

En la milpa cada planta cumple una función ecológica. La asociación maíz – frijol es complementaria, ya que el frijol es una planta fijadora de nitrógeno que le aporta este nutriente al maíz, y la caña de maíz proporciona sostén al frijol que se enreda en ella para apoyarse y crecer. También son complementarios por los nutrientes que aportan, particularmente en cuanto a los aminoácidos, que al reunirse en la dieta tradicional proporcionan una alimentación bastante balanceada. La calabaza sembrada en la parcela entre el maíz y el frijol limita el desarrollo de malas hierbas; con la sombra de sus grandes hojas pegadas al suelo ayudan a mantener la humedad.

En una milpa se mantienen funcionando algunos de los principios ecológicos de un sistema:

- Diversidad de especies y de variedades de una misma especie.
- Interacciones simbióticas o cooperativas entre plantas.
- Utilización óptima del espacio, tanto horizontal como verticalmente, propiciando mayor eficiencia en el aprovechamiento de la luz, la humedad, etc.
- Utilización adecuada del tiempo. Con frecuencia, mientras el maíz ya está madurando el frijol está en pleno desarrollo, lo cual es aún más acentuado en las milpas en que las fechas de siembra de sus diferentes componentes difieren por meses.
- Mayor capacidad de regulación y control de plagas y enfermedades.
- Mayor capacidad de enfrentar riesgos y limitaciones ante fenómenos climáticos, enfermedades o plagas (Aguilar, 2003).

2. Características morfológicas botánica.

Nombre común: Maíz.

Nombre científico: Zea Mays

Familia: Gramíneas.

Género: Zea

La planta del maíz es de porte robusto, sin ramificaciones, de fácil desarrollo y de producción anual. En la cual el tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura. El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias, se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son afilados y cortantes. Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias (Aguilar, 2003).

3. Desarrollo vegetativo y genética del maíz. Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de 8 a 10 días, donde se ve muy reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

A lo que se refiere de la genética del maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en los estudios de genética. Continuamente se está estudiando su genotipo y por tratarse de una planta monoica aporta gran información ya que posee una parte materna (femenina) y otra paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias recombinaciones y crear nuevos híbridos para el mercado.

Los objetivos de este cruzamiento van encaminados a la obtención de altos rendimiento en producción. Por ello, se selecciona en masa aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten una característica determinada de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo. También se selecciona según la forma de mazorca de maíz, aquellas sobre todo que posean un elevado contenido de granos sin deformación.

4. Exigencias.

a. Clima. El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C, requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los

30°C pueden aparecer problemas serios debido a la mala absorción de nutrientes minerales y agua para la fructificación se requiere temperaturas de 20 a 32°C.

b. Pluviometría y riegos. Las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento en unos contenido de 40 a 65 cm. Cuando se refiere a riegos el maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día, los riegos pueden realizarse por aspersión y a manta, el riego más empleado últimamente es el riego por aspersión. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero si mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego de unos 10 a 15 días antes de la floración. Durante la fase de floración es el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajada y la cantidad de producción obtenida por lo que se aconsejan riegos que mantengan la humedad y permita una eficaz polinización y cuajado. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada.

c. Suelo. El maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelo con pH entre 6 y 7. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

5. Labores culturales.

a. Preparación del terreno. La preparación del terreno es el paso previo a la siembra, se recomienda efectuar una labor de arado al terreno con grada para que el terreno quede suelto y sea capaz de tener ciertas capacidades de captación de agua sin encharcamientos. Se pretende que el terreno quede esponjoso o sobre todo la capa superficial donde se va a producir la siembra.

b. Siembra. Antes de efectuar la siembra se seleccionan aquellas semillas resistentes a enfermedades, virosis y plagas. Se efectuar la siembra cuando la temperatura del suelo alcance un valor de 12°C. Se siembra a una profundidad de 5cm. La siembra se puede realizar a golpes, en llano o a surcos. La separación de las líneas de 0.8 a 1m y la separación entre los golpes de 20 a 25cm, la siembra se realiza por el mes de abril.

c. Fertilización. El maíz necesita para su desarrollo unas ciertas cantidades de elementos minerales. Las carencias en la planta se manifiestan cuando algún

nutriente mineral está en efecto o exceso. Se recomienda un abonado de suelo rico en Potasio (K) y Fósforo (P), en cantidades de 0.3 kg de "P" en 100 kg de abonado. También un aporte de nitrógeno (N) en mayor cantidad sobre todo en época de crecimiento vegetativo. El abonado se efectúa normalmente según las características de la zona de plantación, por lo que no se sigue un abonado riguroso en todas las zonas por igual. No obstante se aplica un abonado muy flojo en la primera época de desarrollo de la planta hasta que la planta tenga un número de hojas de 6 a 8.

d. Recolección. Para la recolección de las mazorcas de maíz se aconseja que no exista humedad en las mismas, más bien secas. La recolección se produce de forma mecanizada para la obtención de una cosecha limpia, sin pérdidas de grano y fácil. Para la recolección de mazorcas se utilizan las cosechadoras de remolque o bien las cosechadoras con tanque incorporado y arrancan la mazorca del tallo, previamente se secan con aire caliente y pasan por un mecanismo desgranador y una vez extraídos los granos se vuelven a secar para eliminar el resto de humedad.

Las cosechadoras disponen de un cabezal donde se recogen las mazorcas y un dispositivo de trilla que separa el grano de la mazorca, también se encuentran dispositivos de limpieza, mecanismos reguladores del control de la maquinaria y un tanque o depósito donde va el grano de maíz limpio.

e. Conservación. Para la conservación del grano de maíz se requiere un contenido en humedad del 35 al 45%, para grano de maíz destinado al ganado éste debe tener un cierto contenido de humedad y se conserva en contenedores, previamente enfriado y secado el grano. Para maíz dulce las condiciones de conservación son de 0°C y una humedad relativa de 85 al 90%. Para las mazorcas en fresco se eliminan las hojas que las envuelven y se envasan en bandejas recubiertas por una fina película de plástico. El maíz para grano se conserva de la siguiente forma: debe pasar por un proceso de secado mediante un secador de circulación continua, estos secadores calientan, secan y enfrían el grano de forma uniforme.

f. Plagas y enfermedades.

1) Insectos.

- Gusano de alambre: Vive en el suelo aparecen en suelos arenosos y ricos en materia orgánica. Estos gusanos son coleópteros, las hembras realizan puestas de 100 a 250 huevos de color blanquecino y forma esférica, las larvas de los gusanos de alambre son de color dorado y los daños que realizan son al alimentarse de todas las partes vegetales y subterráneas de las plantas jóvenes. Ocasionan un

grave deterioro a la planta y muere. Para su eliminación se recomienda tratamientos de suelo como paration y otros.

- Gusanos grises: Son larvas de clase lepidópteros pertenecientes al género *Agrotis ipsilon*. Las larvas son de diferentes colores negro, gris y pasando por los colores verde grisáceo y son de forma cilíndrica. Los daños que originan son a nivel de cuello de la planta produciéndoles graves heridas para su control, similar al de gusano de alambre.
- Pulgones: El pulgón más dañino del maíz es *Rhopalosiphum padi*, ya que se alimenta de la savia provocando una disminución del rendimiento final del cultivo y el pulgón verde del maíz es transmisor de virus al extraer la savia de las plantas atacando principalmente al maíz dulce, el control los pulgones se realiza mediante aficidas, cuyas materias activas, dosis y presentación del producto se muestran a continuación.

Tabla No. 29. Control de aficidas para los pulgones.

Materia activa	Dosis	Presentación
Ácido Giberélico 1.6%	0.20-0.30%	Concentrado soluble
Benfuracarb 5%	12-15 kg/ha	Gránulo
Carbofurano 5%	12-15 kg/ha	Gránulo
Napropamida 50%	0.20-0.30%	Polvo mojable

(J. Aguilar, 2003)

2) Ácaros. Arañuelas del maíz, *Oligonychus pratensis*, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus cinnabarinus*. Su control se realiza mediante el empleo de fosforados: Dimetoato y Disulfotón.

3) Enfermedades.

a) Bacteriosis: *Xanthomonas stewartii* ataca al maíz dulce. Los síntomas se manifiestan en las hojas que van desde el verde claro al amarillo pálido. En tallos de plantas jóvenes aparece un aspecto de mancha que ocasiona gran deformación en su centro y decoloración. Si la enfermedad se intensifica se puede llegar a producir un bajo crecimiento de la planta.

b) *Pseudomonas alboprecipitans*: se manifiesta como manchas en las hojas de color blanco con tonos rojizos originando la podredumbre del tallo.

c) *Helminthosporium turcicum*: Afecta a las hojas inferiores del maíz. Las manchas son grandes de 3 a 15 cm y la hoja va tornándose de verde a parda. Sus ataques son más intensos en temperaturas de 18 a 25°C. Las hojas caen si el ataque es muy marcado (INFOAGRO, 2010).

W. Factores que influyen en la floculación.

1. Principales factores. Existen diversos factores que influyen en la eficiencia del proceso, por lo que se mencionan los siguientes:

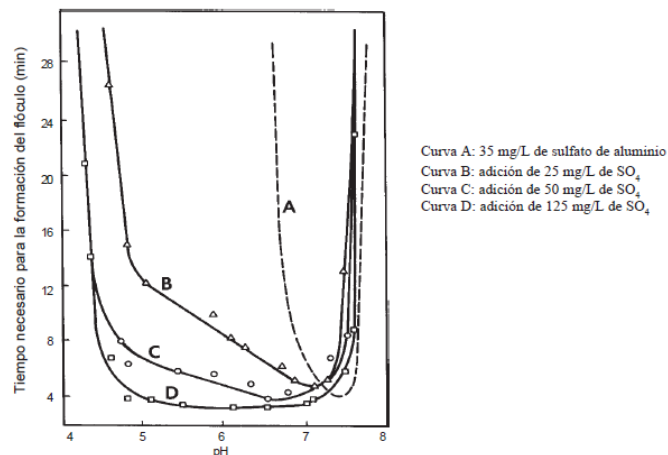
- a. La naturaleza del agua
- b. Las variaciones de caudal
- c. La intensidad de agitación
- d. El tiempo de floculación
- e. El número de compartimentos de la unidad.

La naturaleza del agua:

Para el caso de la concentración de partículas que producen turbiedad tienen una influencia notable en el proceso de elaboración de flóculos. La velocidad de floculación depende del tamaño inicial de las partículas. Según estudios que se han realizado es más fácil flocular aguas con una elevada turbiedad y una amplia distribución de tamaños de partículas (Vargas, 2007).

En función del pH se ha visto que la presencia de iones SO_4^- , tienen una marcada influencia en el tiempo de la formación de flóculos (TeKippe, 1971).

Figura No. 25. Efecto del ión sulfato sobre el tiempo de formación del flóculo de sulfato de aluminio.



(TeKippe, 1971)

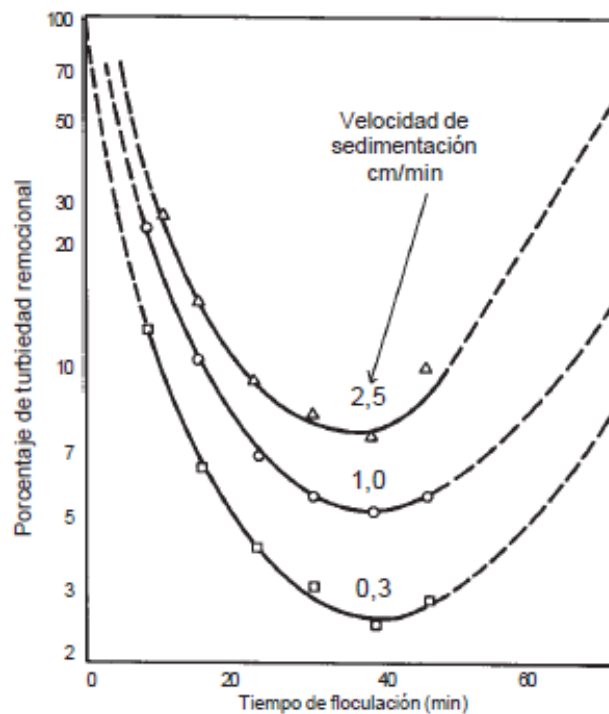
Influencia del tiempo de floculación. Compartimentalización:

A lo largo del tiempo se han hecho varias propuestas de modelos para la floculación, se ha visto que la velocidad de aglomeración de las partículas viene siendo proporcional al tiempo. Por lo tanto en determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación, el cual llamaremos el tiempo de residencia del agua en floculación, que debe rondar normalmente entre 20 y 40 minutos (Vargas, 2007)(TeKippe, 1971).

La permanencia del agua en el proceso de floculación durante un tiempo superior o inferior al óptimo viene produciendo resultados no adecuados e inferiores. Mientras más alejado o cerca del tiempo óptimo de floculación se encuentre el proceso más acentuados serán los resultados (Vargas, 2007).

Por medio de la compartimentalización se puede aumentar la eficiencia del proceso, realizándolo éste dentro del rango óptimo de floculación. Cabe mencionar que existe un gradiente de velocidad, el cual debe ser elevado en los primeros compartimentos para lograr una aglomeración más rápida de los flóculos y un gradiente más bajo en los últimos compartimentos o cámaras, dado que acá se reduce la fragmentación de los flóculos, caso contrario los flóculos se fragmentarían (Vargas, 2007)(TeKippe, 1971).

Figura No. 26. Efecto del período de floculación en la sedimentación



(TeKippe, 1971)

Influencia del gradiente de velocidad:

El gradiente de velocidad es otro de los factores que pueden afectar a la floculación. Si en dado caso el gradiente de velocidad es elevado, la velocidad de aglomeración de las partículas es rápida. Pero cabe mencionar que mientras los flóculos van aumentando de tamaño, las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico van en aumento. Para lo cual los flóculos generados crecerán hasta un tamaño máximo, el cual se verá afectado por las fuerzas de cizallamiento que logran alcanzar una gran intensidad que al final rompe en partículas menores al flóculo (Villegas, 1976).

Los flóculos muestran una resistencia la cual depende de una serie de factores:

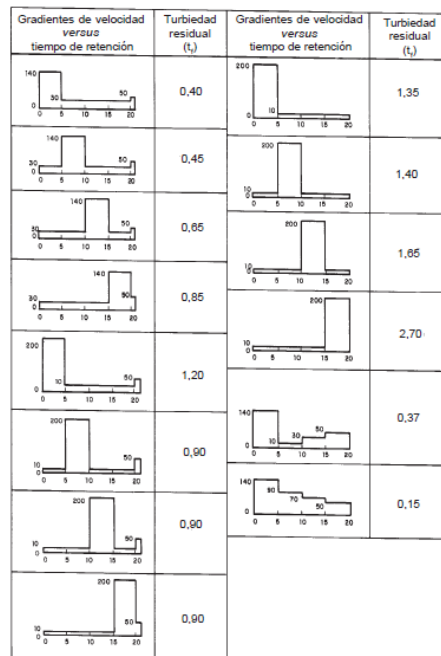
- a. De su tamaño, forma y compactación.
- b. Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas.
- c. Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Según un estudio que realizaron TeKippe, R.J. y Ham, R.K. se logró determinar la influencia de la variación del gradiente de velocidad en los diversos compartimentos de un floculador. Estos datos son mostrados en la Ilustración 4 y según ellos se puede concluir que es necesario realizar una graduación del gradiente de velocidad en forma decreciente y evitar los tramos intermedios que muestren gradientes elevados, dado que ese es el caso más desfavorable (Vargas, 2007)(TeKippe, 1971).

Al igual que el tiempo de floculación óptimo, existen valores recomendados de gradientes de velocidad para la floculación. Estos se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s^{-1} . Es conveniente la realización de compartimentalización con gradientes escalonados en forma decreciente. Es necesario que al principio del proceso de floculación sean gradientes elevados y en el transcurso de los compartimentos se reduzca. Ejemplo de ello, se pueden realizar cuatro cámaras de floculación que sean en serie, los cuales deben tener gradientes de velocidad diferentes de 90, 50, 30 y 20 s^{-1} para cada cámara de floculación (Vargas, 2007)(TeKippe, 1971).

Al momento de finalizar el proceso de floculación, en la última cámara se debe tener un gran cuidado con respecto a la conducción del agua floculada a los sedimentadores. Los gradientes de velocidad de canales, compuertas o cualquier otra estructura diseñada para permitir el paso del agua floculada no deben ser mayores de 20 s^{-1} (Vargas, 2007).

Figura No. 27. Efecto de la variación del gradiente de velocidad en la turbiedad residual según TeKippe y Ham.



(TeKippe, 1971)

Influencia de la variación del caudal:

Actualmente se sabe y es conocido que al momento de variarse el caudal de operación de la planta de tratamiento de aguas, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los tanques de floculación o reactores (Vargas, 2007).

2. Floculadores. De acuerdo con el tipo de energía que se utiliza para agitar la masa de agua se realiza una clasificación de los floculadores, los cuales pueden ser mecánicos o hidráulicos. Si se toma en cuenta la forma o el modo en que se realiza la aglomeración o acumulación de partículas se puede realizar una clasificación más amplia de los floculadores. Por lo tanto se pueden clasificar del siguiente modo: (Vargas, 2007)(Villegas, 1976)

- a. Floculadores de contacto de sólidos.
- b. Floculadores de potencia o de disipación de energía.

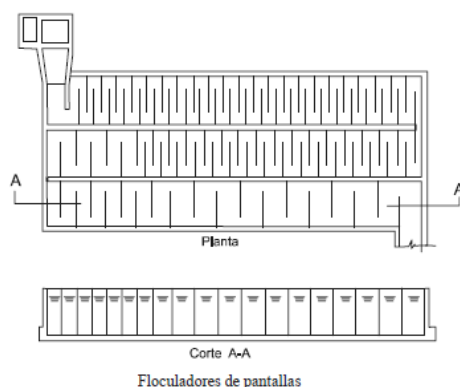
Floculadores de potencia: En los floculadores de potencia, las partículas son arrastradas por el mismo flujo de agua a través de todo el tanque de floculación sin que prácticamente exista concentración de sólidos, pero cabe mencionar que esto será verificado por observación durante el estudio. Generalmente los caudales que se manejan son controlados por los operadores, dado que existen válvulas de paso para el proceso y

pueden ser cambiados a conveniencia. Dependiendo la forma en que se disipe la energía, los floculadores pueden ser clasificados en mecánicos e hidráulicos (Vargas, 2007).

Floculadores hidráulicos: Este tipo de estructura de floculación, es la que EMPAGUA utiliza actualmente en la planta de tratamiento de aguas LO DE COY. Estos utilizan la energía hidráulica que hay en disponibilidad a través de una pérdida de carga general o específica.

a. De pantallas: Este tipo de floculador es el más utilizado. EMPAGUA hace uso de los floculadores hidráulicos de flujo horizontal en donde el agua circula con un movimiento de vaivén entre pantallas (Vargas, 2007).

Figura No. 28. Floculadores de pantallas.



(Vargas, 2007)

X. Mejora continua.

1. Descripción: En la actualidad existen varias empresas las cuales tratan de mejorar día a día sus procesos y prácticas de trabajo para mejorar en varios aspectos. La mejora continua llega a definirse como una sucesión o serie de cambios en pequeña medida que llegan a incrementar los procesos productivos, mejorar indicadores de rendimiento a un bajo costo involucrando varios componentes de una empresa. Dentro de los temas que aborda la mejora continua se pueden mencionar la mejora de la calidad o el de los costos de fabricación, también los de higiene y seguridad en el trabajo (Juan A. Marin García, 2008).

Por medio de cinco fases la mejora continua puede ser puesta en práctica, en este caso serían las siguientes:

- Se debe estudiar el problema y la situación actual de la empresa.
- Recaudación de datos para una propuesta de mejora.
- Realizar pruebas de puesta en marcha de las propuestas seleccionadas.

- Comprobación de la propuesta y sus resultados.
- Implantación y la estandarización de la propuesta.

Hay diversas formas para poder implementar la mejora continua en una empresa. Dentro de éstas hay una que ha mostrado muy buenos resultados durante el tiempo, se trata cuando la mejora es realizada en grupos. De preferencia este grupo se tiene que conocer o también los equipos de trabajo auto-regulados y multifuncionales que incorporan actividades de mejora entre sus responsabilidades (Juan A. Marin García, 2008).

2. Estudio de tiempos.

a. Descripción: Actualmente es muy usada esta técnica del estudio de tiempos por varios Ingenieros que deseen determinar con una muy buena exactitud, el tiempo que tarda un proceso desde el inicio al final de este. Esto se hace en base a un número de observaciones y con la utilización de instrumentos adecuados de medición, con la finalidad de establecer un estándar de tiempo de ese proceso (Niebel, 2009).

Anteriormente los analistas tenían que apoyarse en estimaciones realizadas previamente, como un medio para lograr establecer estándares en procesos. En la actualidad existe un gran crecimiento de competencia en la industria, la mayoría de empresas buscan métodos y estándares para mejorar la producción basándose en los hechos reales y no solamente en una toma de decisiones (Niebel, 2009).

b. Técnicas utilizadas: Existen varias técnicas utilizadas para poder realizar o establecer un estándar, dentro de los cuales se mencionan:

- 1) El Estudio de tiempos
- 2) Datos estándar
- 3) Datos históricos
- 4) El Muestreo de trabajo

Cuando se establecen estándares de tiempo en una empresa se hace posible el incremento en la producción de la planta y la eficiencia del personal que opera en ella. Si se llegan a establecer malos estándares en la planta, esto puede llevar a la empresa a incurrir en costos elevados, en agotamiento del personal y otras fallas involucradas.

c. Herramientas: Un Ingeniero Industrial con sus herramientas adecuadas podrá hacer uso de ellas para realizar sus estudios de una forma adecuada y certera, es de suma importancia que a la hora de realizar un estudio que tenga lo necesario para poder trabajar. Es por ello que en el estudio de tiempos se necesita de un material fundamental, lo necesario es lo siguiente (Niebel, 2009):

- 1) Cronómetro
- 2) Tablero de observaciones
- 3) Formularios de estudio de tiempos
- 4) Calculadora
- 5) Lapicero

3. Seguridad industrial.

a. Descripción: La seguridad industrial es uno de los temas de importancia en todas las empresas, esto es dado a que es más caro no tener seguridad en la planta que ocurra un accidente y se atenga uno a las consecuencias. Es un área que se encarga de reducir los peligros y riesgos en la industria. Toda actividad industrial posee peligros, los cuales necesitan de una correcta gestión (Cooke, 2008).

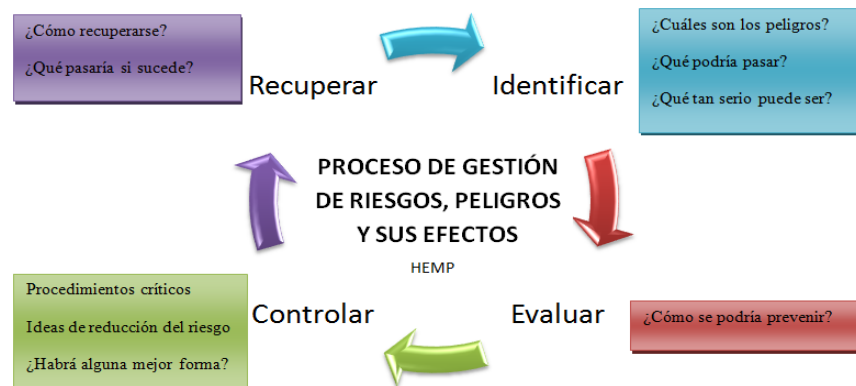
Los principales riesgos en la industria están vinculados a los accidentes, que pueden tener un importante impacto ambiental y perjudicar a regiones enteras, aún más allá de la empresa donde ocurre el siniestro (Gutiérrez, 2010).

La seguridad industrial, por lo tanto, requiere de la protección de los trabajadores, y su monitoreo médico, la implementación de controles técnicos y la formación vinculada al control de riesgos (Gutiérrez, 2010).

b. Análisis HEMP

1) Descripción: El análisis HEMP, es un proceso de análisis sistemático de riesgos, el cual es muy utilizado por varias empresas para la identificación de los peligros y riesgos presentes en las empresas, negocios u operaciones, evaluando los riesgos de su liberación e identificando los controles y medidas de recuperación necesarios que deben estar en su lugar para manejar el peligro (Cooke, 2008).

Figura No. 29. Proceso del análisis HEMP.

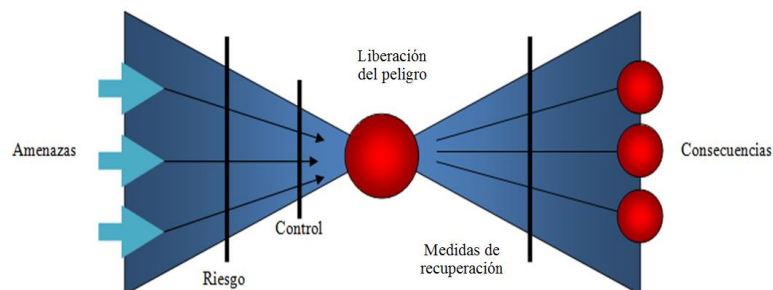


(Cooke, 2008)

Dentro del análisis que se necesita hacer para la elaboración de un manual de seguridad industrial para Empagua, es necesario de un análisis HEMP, con el fin de identificar los peligros y riesgos de la empresa y las medidas de control y recuperación que se deben manejar para estos peligros (Cooke, 2008).

- 2) Matriz de riesgos, peligros y consecuencias. Es necesario realizar una matriz donde se tengan bien identificados los siguientes aspectos:
 - a. Amenaza. La causa que libera el peligro
 - b. Riesgo, el cual es el factor que influencia en el logro de objetivos
 - c. El Control, lo que ayuda a contener la amenaza y reduce el riesgo
 - d. Evento no deseado, lo que sucede al final del árbol causal
 - e. Las medidas de recuperación
 - f. Consecuencias, el resultado de que se liberó el peligro

Figura No. 30. Matriz de riesgos y consecuencias.



(Cooke, 2008)

4. Análisis de las 4T.

a. Descripción: Es necesario hacer un análisis de las 4T, las cuales son: tratamiento, tomar, transferir y terminar. En este caso se buscan las amenazas y se realiza el análisis y esto ayuda a ver en una forma clara que se puede hacer con estas amenazas (Cooke, 2008).

Por otro lado se encuentra el riesgo de mayor importancia, donde se toma el riesgo de mayor importancia y se tiene que ver cómo hacer para tratarlo de la forma más razonablemente posible y baja en costos. Ejemplo de ello (Cooke, 2008):

Es bastante más económico capacitar al personal e invertir en seguridad industrial para evitar cualquier accidente, a que ocurra un accidente (Rodríguez, 2011).

b. Tratamiento: En este caso para riesgos significativos debe existir algún grado de tratamiento en respuesta a ellos. Las opciones viables para tratamiento de riesgos son variados pueden ser las siguientes categorías (Cooke, 2008):

- Organización
- Personas y relaciones
- De dirección
- De funcionamiento
- De vigilancia

c. Tomar: Hasta cierto punto, es necesario llegar a tomar o aceptar ciertos riesgos. Hay varios de ellos que no se pueden evitar, y pocos pueden ser reducidos a cero fácilmente. Por ejemplo, hay riesgos que son inherentes o esenciales a las operaciones de una empresa, estos a menudo se aceptarán y son razonablemente predecibles. Intencionalmente se toman riesgos con el fin de perseguir o mantener una mayor rentabilidad. Cada vez que se desee tomar un riesgo, este deber ser explícitamente formulado, comprendido y aprobado por la administración. El nivel de riesgo que intencionalmente se acepta, generalmente le es referido como “residual” o “riesgo neto” (Cooke, 2008).

Sus características son las siguientes:

- Se persigue intencionalmente
- Es plenamente aceptado
- Establece recompensa
- Desarrolla planes de recuperación

- Investiga y toma medidas de seguimiento
- Desarrolla mecanismos de retroceso
- Costear o financiar las consecuencias

d. Transferir: Puede ser posible reducir el impacto de los riesgos a través de diversos medios que transfieran el riesgo. Las decisiones para transferir un riesgo dependerán de la naturaleza del negocio, la criticidad de las operaciones o servicios relacionados con el riesgo y las consideraciones de costo – beneficio. La comprensión explícita y detallada es esencial para la transferencia eficaz de los riesgos. Es importante combinar los acuerdos de transferir un riesgo con el de tratamiento, con contratos, metas de desempeño, competencia etc. (Cooke, 2008).

Sus características son las siguientes:

- Subcontrata (Outsourcing)
- Participación (alianzas, asociaciones)
- Diversificar / Difundir

e. Terminar: Los riesgos se pueden evitar, por ejemplo, dejando una determinada actividad o retirarse de un mercado específico. También es posible poner fin a algunos riesgos cambiando el objetivo de negocio o proceso (Cooke, 2008).

Dentro de sus características se encuentran:

- Cesar la actividad
- Retirarse del mercado
- Cambiar o recalibrar objetivo
- Rediseño de procesos de negocio
- Reducir la escala

f. REACH (Riesgo, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos). Si es necesario, en el caso que Empagua utilice químicos, existe la posibilidad de hacer un “REACH” (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y preparados químicos) para las sustancias químicas que utilice la empresa, en dado caso no tengan etiquetas los químicos. Esto es hacer un etiquetado

ideal para los químicos y este debe mostrar los peligros que pueden ser ocasionados por la manipulación de éstos (Cooke, 2008).

5. El método de las 5s. Las 5 “S” es una práctica que tiene sus orígenes en Japón, la cual es referida al “Mantenimiento Integral” de una empresa. En este caso no se trata solamente de la maquinaria, de infraestructura o equipo, sino que se refiere también al mantenimiento del entorno de trabajo por parte de todas las personas involucradas en éste (Rosas, 2007).

- Seiri: *Clasificación y descarte*, separar lo necesario de lo no necesario.
- Seiton: *Organización*, cada cosa debe tener su lugar donde puede ser encontrado.
- Seiso: *Limpieza*, conservar un ambiente limpio de trabajo asignando tareas.
- Seiketsu: *Higiene y visualización*, todo lugar debe estar siempre limpio a la vista.
- Shitsuke: *Disciplina y compromiso*, por medio de buenos hábitos conservar lo anteriormente trabajado.

Las 5 “S” han sido aplicadas alrededor del mundo por sus excelentes resultados, también son aplicadas con efectividad y sencillez. La utilización de esta práctica ayuda a mejorar los niveles de calidad, reducción de número de accidentes, reducción de costos de mantenimiento y eliminación de tiempos muertos (Rosas, 2007).

Cabe mencionar que la utilización de esta práctica requiere del compromiso de todo el personal, para que siempre se mantenga en práctica y activa, con el fin de lograr una empresa limpia, segura e higiénica. En este caso se trata de “La Mejora Continua” (Rosas, 2007).

Figura No. 31. El método de las 5S



(http://www.paritarios.cl/images/esp_5s_00.jpg)

Y. Programa educativo de EMPAGUA.

La historia de EMPAGUA, el programa educativo que utiliza desde el año 2001 hasta el día de hoy, el Currículo Nacional Base del segundo ciclo del nivel primario y ciclo de educación básica del nivel medio; y la teoría del aprendizaje significativo constituyen el marco del programa educativo de EMPAGUA. Estos tres refuerzan y profundizan en información a la investigación y propuestas a desarrollar. Se desarrolla la teoría recabada sobre el estilo de investigación para con este trabajo.

1. Historia de EMPAGUA. Síntesis histórica (1776 - 1992): Se iniciaron los estudios previos para abastecer de agua potable a los pobladores de la ciudad en 1776. El Maestro Don Bernardo Ramírez fue el que ejecutó la construcción, que consistía en un acueducto cerrado de ladrillo y mampostería. La obra dio inicio en los ríos Mixto, Concepción, Pansalic, Pancochá, Betien, Pinula, Acatán y Agua Bonita. Dicha obra finalizó el 24 de junio de 1785.

La unificación de estos caudales (930 pajas) fue posible con la construcción de un Acueducto de ladrillo y mampostería, y todos convergen en la “caja de las trompetas” ubicada en lo que hoy es la 19 calle y 4 avenida de la zona 1.

Posterior a la fundación de la ciudad, se construyeron unos acueductos de ladrillo, rectangulares y cerrados, que sirvieron para conducir las aguas domésticas y desechos (drenajes). «*Estos caudales fueron introducidos para una población de 13,250 habitantes a razón de 600 litros por habitantes por día*» Primer censo de 1786 en síntesis histórica de EMPAGUA. En 1782 se creó por decreto la Dirección de Aguas, como dependencia municipal, que velaría por el abastecimiento de agua para la ciudad por medio de concesiones que el gobierno otorgó a la municipalidad. El volumen creció a 125 litros por día dado a que la población de la ciudad creció llegando a 60mil habitantes.

Entre 1889 y 1897, el gobierno intervino en el servicio para emprender la reforma del ramo de aguas y también introducir nuevos caudales. Ascendió a un volumen unitario de 180litros por habitantes por día. En 1897 se cambió la tubería de barro cocido por hierro. De 1901 a 1905 se introdujeron nuevos caudales (Minas y Raicero) y se aumentó el volumen a 235 lts./hab./día, para una población de 80 mil habitantes. Entre los años 1917 y 1918, luego de los terremotos, se empezó a utilizar el cloro para la purificación del agua, pero dicho proceso no duró mucho tiempo. En 1925, el volumen de agua era de 130lts./hab./día. En 1926 se acuerda declarar de utilidad pública el arroyo de El

Mariscal. De 1930 a 1938 la compañía J.G. White Engineering Co. Estudió la introducción de las aguas de El Mariscal y la respectiva concesión para su explotación y administración. Situación que todavía es una realidad hoy en día. Posterior se cambian las tuberías a hierro fundido gris y hierro galvanizado así como el cambio de distribución domiciliar por medio de flautas.

El 15 de septiembre de 1938 la ciudad contaba con 175 mil habitantes ya la Municipalidad introdujo el agua del Teocinte, elevando el volumen unitario a 160lts./hab./día. Consecuencia de este nuevo caudal, se redujo la cantidad de agua y el Banco Crédito Hipotecario Nacional concedió un préstamo a la Municipalidad para comprar dos mil contadores para control de consumo de agua. Así también se inició con la micromedición y se inaugura la Planta de Tratamiento El Cambray que sustituye la de la 19 calle.

En 1941 se creó el Título de Agua Municipal y se ordenó abrir el registro de Aguas Municipales. Se sustituyó el antiguo acueducto, con más de 150 años de antigüedad, por tuberías de 12 pulgadas de diámetro y 7,710 metros de longitud. En 1944 se proyectaron nuevos caudales como El Ojo de Agua, el bombeo de Santa Lucia, Sifón y el Rebalse del Teocinte. En 1945 entra en servicio la planta La Brigada. En el año 1949 se tenían 12 mil servicios de los cuales solo 7 mil tenían contador, representando esto un 58%; no existía una planificación de un cuerpo técnico municipal para la búsqueda de un abastecimiento fluido para la ciudad de Guatemala.

De 1950 hasta el día de hoy, la tecnología ha avanzado llegando al 99% de los servicios en la colaboración de medidores; se cambiaron los sistemas de distribución, tuberías de asbesto-cemento por las de hierro galvanizado, éste por la de PVC (plásticas). Se creó el laboratorio Clínico Bacteriológico para controlar la calidad del agua, tanto en la Universidad San Carlos de Guatemala como en las plantas de purificación existentes. Se emplean ya los elementos químicos necesarios como cloro, sulfato de aluminio, flúor, etc. Se construyeron las primeras plantas de bombeo eléctrico. Se introdujeron nuevos e importantes caudales como Ojo de Agua, Xenacoj-Xayá-Pixcayá, así como pozos de bombeo perforados en distintos puntos de la ciudad. En este período se da también la creación de la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala, Empagua. Estas obras fueron posibles gracias a préstamos extranjeros por intermedio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Oficina Panamericana de la Salud (OPS), Banco Mundial (BM) y la ayuda tecnológica de Japón y Francia.

En 1992 se creó la tasa municipal pro el derecho de servicio de agua potable en un inmueble. El pago de esta tasa da derecho al usuario a que se preste el servicio en un inmueble específico, sin necesidad de ser propietario de un título. Ese mismo año se acuerda el pago del servicio del agua por medio de rangos de consumo.

¿Qué es EMPAGUA?

Es la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala. Se encarga de prestar el servicio de agua potable, el alcantarillado y el saneamiento para la ciudad y las áreas adyacentes. Está constituida por un equipo de personas calificadas para la perfecta ejecución de los procesos que allí se llevan a cabo.

Creación de EMPAGUA

El 20 de abril de 1971 el Concejo Municipal aprobó el convenio entre el gobierno y la Municipalidad de Guatemala, para la administración del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. Dicho convenio fue firmado el 21 de mayo y aprobado por acuerdo gubernativo de fecha 25 de mayo del mismo año, en donde se acordó crear la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala finiquitado el 28 de noviembre de 1972.

2. Desarrollo del programa educativo de concientización en el uso del recurso natural del agua por la Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA.

Temas:

- a. Explicación institucional de EMPAGUA: Video.
- b. Proceso de tratamiento de Agua “Lo de Coy”
 - 1) Captación: caja de entrada.
 - 2) Potabilización.
 - 3) Canal de entrada.
 - 4) Dosificadores.
 - 5) Floculadores.
 - 6) Sedimentadores.
 - 7) Filtración: filtros.
 - 8) Desinfección.
 - 9) Exámenes químico-bacteriológicos y químicos utilizados.
 - 10) Distribución
- c. Consejos sobre ahorro.
- d. Efecto multiplicador: que desempeñan al transmitir los conocimientos recibidos al trasladarlos a sus conocidos.

e. Material informativo.

El Programa fue creado con el fin de educar y concienciar sobre el ahorro y cuidado del agua. EMPAGUA es responsable de la prestación del servicio de agua potable en la ciudad capital y su área de influencia urbana. A ésta le corresponde la producción, captación, distribución, mantenimiento, mejoramiento y ampliación de este servicio en el municipio de Guatemala. Se preocupa por desarrollar programas sociales que concienticen sobre el cuidado de este vital recurso. Dentro de estos programas se encuentra el de «*Concientización en el Uso Racional del Agua*» destinado a *educar a los habitantes de la ciudad y fomentarles una conducta de ahorro y cuidado de este recurso.*» -Programa Educativo EMPAGUA.

Nace a partir de la urgente necesidad de solucionar y resolver un problema de índole nacional, el desperdicio del agua y su descuido. «*Busca concienciar en cuidar y proteger el agua existente y usarla en forma eficiente y sin desperdicio.*» - Programa Educativo EMPAGUA. En realidad no es una de sus obligaciones pero son conscientes del gran recurso educativo que tienen en sus manos, y así han educado a miles de guatemaltecos.

Este programa educativo inició en el año 2000 dando pláticas semanales en la Planta "Lo de Coy". Se informó a un total de 9 escuelas con la colaboración de un instructor y el Superintendente de la Planta. Los frutos fueron bastante buenos y la información corrió hasta el sector privado, es por ello que en el año 2001 se atendieron 16 instituciones públicas y privadas dando un total de 960 alumnos. Para el año 2002, estudiantes universitarios y personas particulares formaron parte del público atendido, llegando a un total de 4,767 personas. En el 2003 aumentó el número a aproximadamente 7,000; en el 2004 casi 9,000; y en el 2005 aumentó a 12,400 asistentes. Para el 2008 se llegó a 9,300 asistentes, de escuelas, colegios, institutos, universidades, grupos de comunidades y personas individuales. El 2009 asistió a 9,500 asistentes y 9,800 en el año 2010 recibiendo a institutos del interior del país como: Jutiapa, Chimaltenango, San Lucas, Petén, Cobán y Zacapa.

A partir del éxito se consolidó el Programa añadiendo un elemento muy importante, un autobús para el traslado de los escolares a atender. Así también se agregó un instructor que diera las pláticas y guiara el recorrido. Muchos días se realizaron hasta dos recorridos diarios. Para el autobús crearon dos videos: uno del proceso de

potabilización y otro institucional; así también se creó un video animado dirigido a estudiantes de Quinto y Sexto del Nivel Primario.

En el 2004 La Municipalidad de Guatemala, con su Programa “Vive tu Ciudad” reunió a 4,616 estudiantes del Nivel Primario en el Palacio Municipal. Allí se ofreció una charla sobre los procesos de potabilización del agua, seguridad sanitaria, ahorro y buen uso del agua. Se distribuyeron trifoliales informativos. Gracias a la fuerte demanda de información, en la Municipalidad se atienden a casi 4200 estudiantes de educación media a parte de los estudiantes menores que se les invita a la Planta de Tratamiento “Lo de Coy”.

La inducción informa acerca de:

- Conformación del planeta en relación con el agua.
- El ciclo del agua y su importancia para la vida.
- Utilización del agua para el ser humano.
- Proceso de purificación de agua.
- Consejo para el ahorro, uso y manejo del agua.
- Dinámica de preguntas y respuestas.

Se entregan también documentos informativos como:

- El folleto “Agua para la Vida”
- Trifoliales informativos institucionales y de los procesos de tratamiento del agua.

Hoy en día se lleva a cabo el Programa únicamente en la Planta “Lo de Coy” ubicada en la Aldea Lo de Coy de Mixco. Ésta es la de mayor dimensión a nivel centroamericano, sin embargo las otras cuatro cumplen con el mismo proceso. Por su magnitud es la única capacitada para poder atender a grandes grupos de estudiantes que quieran conocerla.

El programa se ha ido incrementando con los años en base a la retroalimentación de los asistentes, las necesidades de cobertura y el interés presentado por los establecimientos educativos. «La actividad busca sensibilizar y educar sobre la importancia del agua en la vida del ser humano en general.» Programa Educativo EMPAGUA. Se dan a conocer los procesos de: captación, potabilización y distribución. Los cuales se desarrollan en los distintos puntos de la planta: Caja de entrada, canal de entrada, canal de mezcla rápida, canal de mezcla lenta, sedimentadores, filtros, tanque de almacenamiento y sistema de recuperación.

3. Área de Ciencias Naturales y Tecnología.

a. Área de Ciencias Naturales y Tecnología del Segundo Ciclo del Nivel Primario.

Dentro del Currículum Nacional Base identifica como el área que: “Comprende la organización del conocimiento, de habilidades, actitudes y valores del ser humano de la vida en todas sus manifestaciones”. Se incluyen todos los aprendizajes en tecnologías que incluyen las interacciones de los seres vivos en sus respectivos ecosistemas. Pretende conocer la naturaleza, comprenderla, cuidarla y propiciar el debido respeto a sus múltiples manifestaciones.

Como es parte fundamental de la vida de los y las estudiantes, orienta el desarrollo de sus habilidades únicas para comprender los fenómenos y procesos naturales que ocurren. Los procesos sociales y culturales también forman parte de estas interacciones las cuales los capacita para “conocer, analizar y aplicar el conocimiento científico y tecnológico”, para la resolución de los problemas cotidianos en su entorno. El trabajo en equipo es parte importante ya que les enseña a intercambiar saberes y a utilizar la información adquirida en distintas situaciones.

Las competencias a alcanzar son:

- Participa en actividades que promueven el rescate, conocimiento, protección, conservación y uso racional de los recursos naturales.
- Fomenta la importancia de un entorno sano y la seguridad personal y colectiva por medio del desarrollo sostenible en función del equilibrio ecológico.
- Emite juicio crítico acerca del impacto de la actividad humana y el crecimiento poblacional en el deterioro ambiental.

4. Área de Ciencias Naturales y Tecnología del Nivel Medio. En el Nivel Medio ya las estructuras mentales del alumnado se muestran más evolucionadas, es por ello que en estas edades se integra el área científica y se estudia la tecnología a profundidad. Como es citado en ODEC para el Área de Ciencias Naturales: *«Las áreas curriculares han sido actualizadas en términos del nuevo paradigma curricular, avances científicos, tecnológicos y humanísticos, y demandas sociales. Las áreas de Matemáticas y Ciencias Naturales han sido fortalecidas para que el estudiantado obtenga una formación matemática y científica más sólida que contribuya a su formación básica.»* La formación de los estudiantes no solo se vuelve más sólida si no que fomenta acciones positivas para que ellos generen proyectos en su comunidad.

5. Área de Formación Ciudadana. Dentro del CNB es el área que integra dimensiones orientadas a fortalecer la participación individual y grupal para el fortalecimiento de la democracia y la cultura de paz. Se orienta a propiciar la ciudadanía plena, específicamente en lo relacionado a una cultura de respeto y al ejercicio de los Derechos Humanos, la comunicación y el manejo pacífico de los conflictos, el liderazgo y la cultura de paz.

El fomento de la participación ciudadana demanda el desarrollo del juicio crítico, la autoestima, el conocimiento y la interiorización de los valores y los principios democráticos; la solidaridad, la autogestión y la autodeterminación de los Pueblos como expresiones de los Derechos Humanos. Promueve el desarrollo de valores y actitudes que determinan un modelo de vida en sociedad con el fin de aplicarlos a su entorno, contribuyendo a fortalecer los principios de libertad, respeto mutuo, justicia, equidad y bienestar común. Asimismo, contribuye al reconocimiento, al respeto y al desarrollo de las culturas del país, como fundamento para una convivencia pacífica, democrática e intercultural.

Las competencias a alcanzar son:

- Demuestra actitudes basadas en principios de convivencia solidaria y respetuosa, en los diferentes ámbitos en los que se desenvuelve.
- Participa en acciones orientadas al ejercicio de los Derechos Humanos y construcción de una cultura de paz en familia, en la comunidad y en el país.
- Participa en relaciones sociales que inciden en los derechos y responsabilidades necesarias para una cultura de paz en el contexto nacional e internacional.
- Generalidades del Currículum Nacional Base (CNB)

Constituye un elemento fundamental en el proceso de transformación curricular del sistema educativo nacional por el Ministerio de Educación. Este se contempla en el Diseño de Reforma Educativa desde 1997 y fortalece al sistema nacional de educación que responde a estándares nacionales e internacionales de calidad educativa. *«La Reforma Educativa se realiza en un contexto sociocultural, socioeconómico, jurídico, político y educativo singular, de donde surgen criterios orientadores, grandes preocupaciones y dimensiones temáticas, demandas de organizaciones y sectores específicos.»* - Marco General de la Transformación Curricular: 2003:1 en Currículum Nacional Base: 2008:6.

Hace referencia a las leyes que lo sustentan, presenta competencias a lograr por el estudiante al egresar de Nivel y las áreas curriculares que constituyen la base para el aprendizaje. «Prescribe los lineamientos nacionales, los elementos comunes y las bases psicopedagógicas generales, así como los elementos provenientes de las culturas del país. Con ello, el Currículum Nacional Base contribuye a la construcción del proyecto de nación multiétnica, pluricultural y multilingüe.» Currículum Nacional Base: 2008:6. Todo lo anterior con el fin de que la educación sea integral y responda al contexto socioeconómico de cada guatemalteco y guatemalteca.

La Reforma Educativa busca satisfacer la necesidad de un futuro mejor a través del logro de una «sociedad pluralista, incluyente, solidaria, justa, participativa, intercultural, pluricultural, multiétnica y multilingüe». Una sociedad que goce de seres conscientes de su valor e importancia en colaborar con el desarrollo del país. Que busquen activamente construir un bien común y la mejora continua de la calidad de vida de cada ser humano; como resultado pueblos sin discriminación por razones políticas, ideológicas, sociales, culturales, ideológicas, lingüísticas y de género.

Uno de los objetivos de la Educación es de «*Formar capacidad de apropiación crítica y creativa del conocimiento de la ciencia y tecnología indígena y occidental a favor del rescate de la preservación del medio ambiente y del desarrollo integral sostenible*». - Currículum Nacional Base: (2008:7). Los estándares educativos de Guatemala responden a la necesidad de integrar el mundo en el que los alumnos viven. Estos «*Responden a las necesidades de relacionar a los estudiantes con el cambiante mundo que los rodea*». El Currículo Nacional Base integra en el primer ciclo el estudio de las ciencias naturales y sociales bajo el área Medio Social y Natural (primero, segundo y tercer grado); están integrados. Mientras que en el segundo ciclo se estudian separadas, de tal manera que aquí se estudia el área de Ciencias Naturales y Tecnología, de cuarto a sexto grado.

Es de vital importancia que la persona conozca del organismo como unidad y la interrelación de este con otros organismos, con su entorno inmediato y con el Universo en general. Es así que el área de Ciencias Naturales y Tecnología agrupa los estándares en componentes, como lo hace el Currículo Nacional Base. De esta forma se hace significativo el aprendizaje de los estudiantes y se generan acciones positivas con el cuidado del medio ambiente.

En la siguiente tabla se detallan los componentes del área de las Ciencias Naturales y Tecnología.

Tabla No. 30. Componentes de Ciencias Naturales y Tecnología.

Componentes de Ciencias Naturales y Tecnología
Área de Ciencias Naturales y Tecnología – Cuarto, Quinto y Sexto Grados del Nivel Primario
<p>A. Conocimiento personal</p> <p>B. Vida saludable</p> <p>1. Subcomponentes</p> <p>a. Salud y nutrición</p> <p>1) Relación de la importancia que tienen los alimentos y la higiene personal con el buen funcionamiento del organismo humano. Fomento de la práctica de higiene personal y el consumo adecuado de alimentos.</p> <p>b. Ecología</p> <p>1) Interrelación de los factores bióticos y abióticos que conforman el ecosistema. Relación al estudiante con el entorno que lo rodea de manera que comprenda la interrelación entre elementos vivos y no vivos.</p> <p>c. Medio ambiente</p> <p>1) Descripción de la interacción del ser humano con su entorno, detectando problemas ambientales y fomentando su cuidado. Estímulo de comportamientos en el estudiante de cuidado y protección del ambiente que le rodea.</p>
<p>Grados del Segundo Ciclo</p> <p>A. Cuarto grado: Describe acciones de saneamiento ambiental en su hogar, escuela y comunidad.</p> <p>B. Quinto grado: Describe la importancia de participar en programas de manejo de desechos, prácticas de reciclaje, cuidado del agua, como medidas de protección y conservación de los ecosistemas.</p> <p>C. Sexto grado: Analiza el impacto del crecimiento demográfico y la relación entre la actividad humana y el deterioro ambiental y formas para su conservación y rescate.</p> <p>1. Desarrollo sostenible</p> <p>a. Subcomponente</p> <p>1) Materia y energía</p> <p>a) Identificación de la composición del mundo que le rodea, así como la utilización de la energía como parte del desarrollo sostenible. Fomento del aprovechamiento de la materia y la energía para facilitar el trabajo y el desarrollo de los pueblos.</p>
<p>Grados del Segundo Ciclo</p> <p>A. Cuarto grado: Explica los cambios de estado en la materia: evaporación, condensación, fusión, sublimación, deposición y solidificación. Distingue las diversas manifestaciones de la energía y su aplicación en la industria, máquinas y trabajo.</p> <p>B. Quinto grado: Reconoce que la materia está formada por moléculas y las moléculas por átomos. Explica como los seres humanos hacen funcionar algunas máquinas utilizando la energía.</p> <p>C. Sexto grado: Identifica elementos químicos indispensables en la vida del ser humano y la formación de sustancias esenciales y mezclas. Relaciona las fuentes de energía con sus transformaciones, y aplicaciones; y describe el uso de tecnología favorable al ambiente.</p>

Tabla No. 31. Componentes de Ciencias Naturales y Tecnología (Cont.)

<p>1. El clima</p> <p>a. Explicación de la relación de los componentes de la biosfera con los fenómenos atmosféricos que se suscitan en nuestro planeta. Fomento del estudio y la predicción de fenómenos atmosféricos como una forma de prevención de desastres.</p> <p>Grados del Segundo Ciclo</p> <p>A. Cuarto grado: Explica los fenómenos atmosféricos que observa en al vida diaria y la forma en que el hombre es capaz de predecirlos.</p> <p>B. Quinto grado: Explica la relación que hay entre el ciclo del agua y los fenómenos que ocurren en nuestro planeta.</p> <p>C. Sexto grado: Relaciona el clima local con el clima regional y mundial, los fenómenos atmosféricos que se presentan simultáneamente en el planeta y la predicción de los mismos.</p>
<p>1. Manejo de la información</p> <p>b. Subcomponente</p> <p>1) Investigación científica</p> <p>a) Fomento del conocimiento científico por medio del uso de la investigación. Desarrollo del espíritu de investigación en los educandos.</p> <p>Grados del Segundo Ciclo</p> <p>A. Cuarto grado: Plantea preguntas, hace observaciones cualitativas y/o cuantitativas de situaciones observadas en su entorno.</p> <p>B. Quinto grado: Realiza investigaciones para responder a preguntas que se ha formulado utilizando recursos que estén a su alcance.</p> <p>C. Sexto grado: Aplica los principios de la investigación científica en la comprensión y/o resolución de problemas que relacionen al ser humano con su entorno.</p> <p>Área de Ciencias Naturales – Ciclo de Educación Media</p> <p>Competencia: Relaciona la nutrición, el ejercicio físico, la prevención y tratamiento de enfermedades y la educación en seguridad, con la conservación, mejoramiento de la salud humana y la calidad de vida individual colectiva.</p>
<p>Contenidos</p> <p>A. Procedimentales</p> <p>1. Utilización de formas para la purificación del agua a partir de los recursos disponibles en su entorno.</p> <p>B. Declarativos</p> <p>1. El agua: indispensable para el desarrollo de la vida. Formas de purificación del agua.</p> <p>C. Indicadores de logro</p> <p>Practica el ejercicio físico, la adecuada alimentación y la higiene en la prevención de enfermedades y el mejoramiento de la salud.</p>

Elaboración propia del autor, con base: CNB Primaria (2012)

Z. Aprendizaje.

1. Proceso de enseñanza - aprendizaje. El proceso de enseñanza - aprendizaje es valioso cuando el guía conduce al estudiante por etapas de evaluación de ideas previas y conocimientos desarrollados anteriormente. En el caso de las ciencias naturales, el estudiante debe ser expuesto a examinar sus propias teorías y confrontar las incongruencias (Hewson, Beeth y Thorley, 1998) en Woolfolk (1996). Según Woolfolk (1996) las seis etapas para provocar cambios conceptuales son: La incomodidad inicial con sus propias ideas y creencias, 2. Los intentos por explicar las inconsistencias que hay entre sus teorías y la evidencia que se les presenta, 3. Los intentos por ajustar las medidas y observaciones para que se adapten a las teorías personales, 4. Las dudas, 5. La vacilación, 6. El cambio conceptual (Nissani y Hoefler-Nissani, 1992) en Woolfolk. Bien expuestas las etapas garantizan el aprendizaje y validan el proceso de enseñanza que no se basa solo en cumplir con el programa de los profesores. La motivación de una actividad fuera de la escuela ocasiona que los estudiantes se interesen por aprender, sin embargo no es factor suficiente para garantizar el cambio de ideas o conceptos. Se debe motivar a que el aprendiente describa, haga predicciones, explique, justifique, debata y defienda sus ideas. La comunicación en el diálogo es muy importante y comprueba define los nuevos conceptos.

2. Aprendizaje significativo. David Ausubel (1970) en su gran preocupación por definir el aprendizaje humano, desarrolló un programa de investigación educativa que se centra en una «visión totalizadora del problema y que incluye otros aspectos íntimamente relacionados con el aprendizaje en situaciones formales.» Ausubel en Méndez (2010:91). La idea central de la teoría de Ausubel es la de Promover un aprendizaje significativo en los diferentes momentos o etapas por las que pasa el ser humano.

Según este enfoque se crean relaciones entre los conocimientos previos y los nuevos en la estructura cognitiva de la persona. Cuando la persona relaciona nuevos conocimientos con otros previamente adquiridos existe un interés intrínseco el cual es clave para lograr el aprendizaje. Según Ausubel (1970) «*El aprendizaje significativo es un proceso a través del cual una nueva información se relaciona con un aspecto relevante de la estructura del conocimiento del individuo*».

El aprendizaje significativo se da gracias a diferentes condiciones y estrategias. Entre las condiciones están: Una evaluación espontánea de los conocimientos previos de los alumnos, es importante para que el maestro escuche lo que ellos saben, partiendo de esos conocimientos se habla de la nueva enseñanza; el uso del material didáctico y

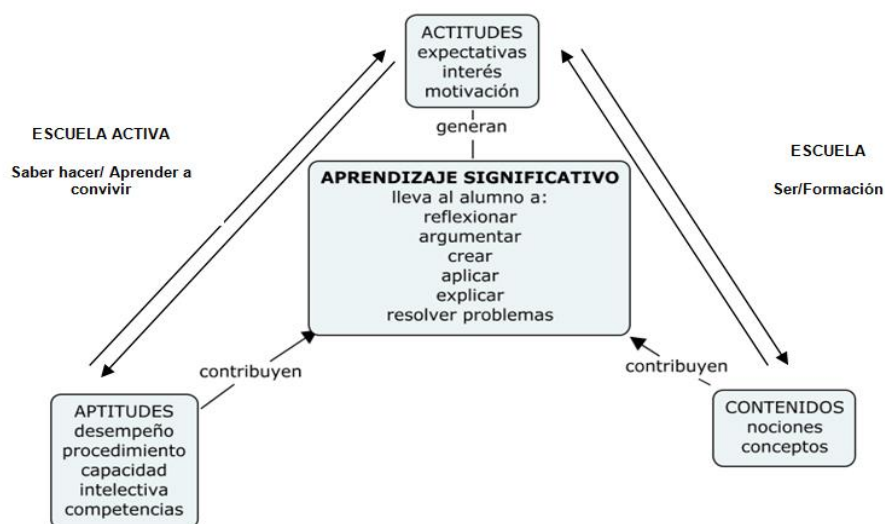
recursos llamativos actualizados son fundamentales por su carácter innovador; la motivación por parte del maestro es muy importante para activar los conocimientos previos activando el interés por recordar y aprender; un ambiente agradable y positivo para cada alumno promueve el aprendizaje, sin tener que ser lujoso y físicamente impecable.

Estrategias como el uso de los organizadores gráficos, mapas conceptuales y lluvias de ideas son excelentes activadores del aprendizaje. El diálogo y la conversación didáctica promueven conexiones significativas, así como las distintas evaluaciones que den retroalimentación del desempeño. Trabajo en equipo y trabajo cooperativo, realización de proyectos y tareas integrales son de alta importancia.

Es gracias al aporte del maestro Ausubel que los aprendizajes se convierten más valiosos. El alumno entiende las relaciones entre lo que ha aprendido y lo que está aprendiendo y como eso lo puede llevar a generar cambios en su pensamiento. Es un aprendizaje más integral, vivencial y significativo que no solo se almacena en la memoria a corto plazo sino en la más importante, la memoria a largo plazo. En el área de las Ciencias Naturales es más fácil que se construyan aprendizajes significativos por la cantidad de vivencias y experiencias que los estudiantes tienen con su medio ambiente.

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica, El aprendizaje significativo es englobado por actitudes, aptitudes y contenidos. La enseñanza se caracteriza por enseñar a hacer, a aprender y a ser. Un enfoque ligado al de competencias que es el que caracteriza al Currículum Nacional Base de Guatemala.

Figura No. 32. Aprendizaje significativo.



(Imagen de Página web: Google, 2012)

III. ANTECEDENTES

La planta de tratamiento "Lo de Coy" recibe agua de los ríos Xayá y Pixcaya ubicados aproximadamente a 80 km. Estos dos se unen para brindar un caudal promedio de 1,300 litros por segundo. Dentro de la planta el vertedero de agua cruda restringe partículas grandes por medio de una rejilla. Luego se permite que el agua fluya libremente dentro de un canal.

En el mismo canal se encuentra el área de dosificación del químico floculante. En este caso es sulfato de aluminio que se agrega directamente al agua en forma de solución, la cual mantiene su concentración en un rango de 5-10% p/v. La cantidad necesaria para lograr una buena floculación se encuentra en función de la turbidez del agua cruda. En el momento en el que el sulfato de aluminio y el agua cruda entran en contacto, la mezcla se hace pasar por un canal de Parshal para crear la mayor turbulencia posible y lograr una mezcla total entre el agua y el agente floculante.

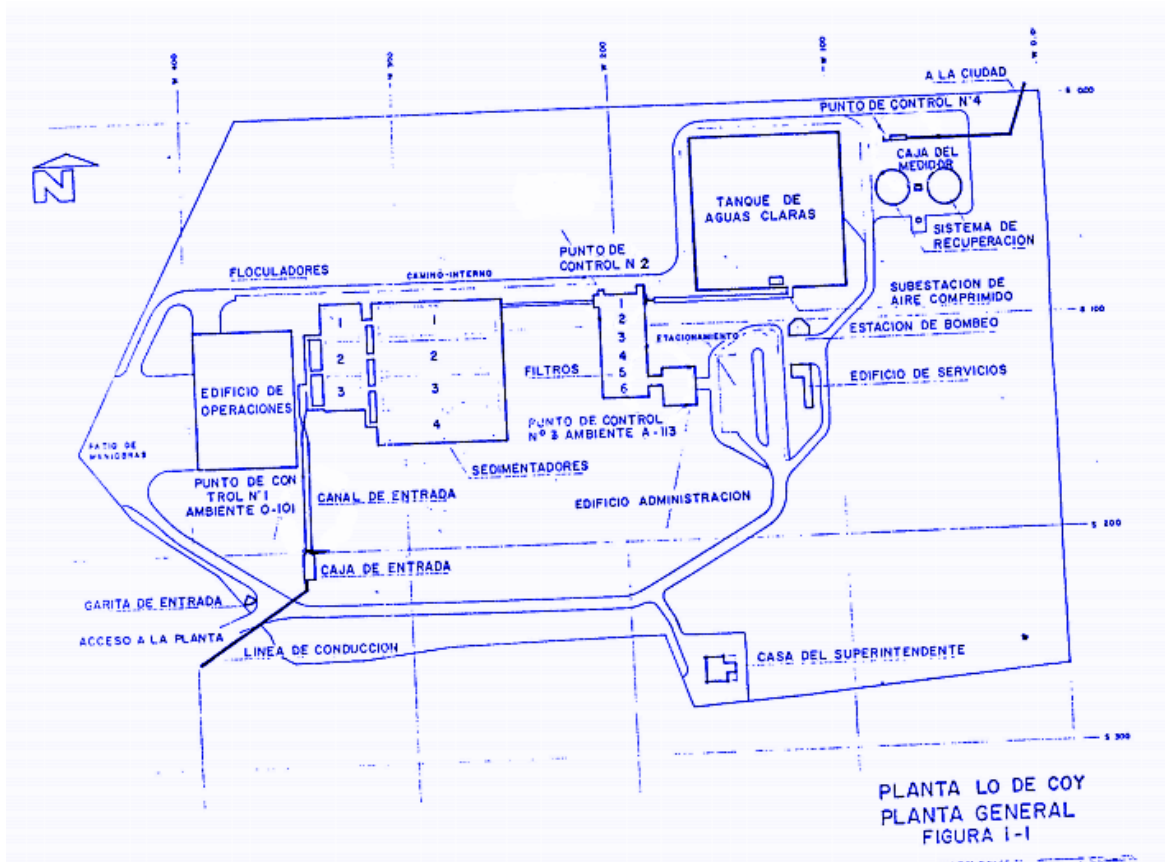
Seguido de la dosificación, continúa el proceso de floculación. Se cuenta con cuatro floculadores que consisten en unas placas deflectoras que permiten crear turbulencia y poco a poco la velocidad del flujo disminuye. El tiempo de residencia en estos floculadores es de aproximadamente 20 minutos.

El siguiente paso de este proceso es la sedimentación de los lodos por medio de un clarificador. Se ingresa el agua con el floculo hacia un tanque de sedimentación que tiene una longitud de 54.3 metros, un ancho de 15.5 metros y un alto de 4.5 metros. En este proceso el floculo comienza a caer hacia el fondo del tanque y el fluido se desplaza con carácter laminar. Se permite, entonces, que el agua clara quede en la parte superior y se recolecta por medio de una canaleta. La planta cuenta con cuatro tanques de sedimentación.

Por medio de una tubería, se permite fluir el agua clarificada hacia la sección de los filtros por gravedad. Este proceso se realiza para lograr eliminar todas las partículas no se logran sedimentar. Estos se componen de una capa de arena silica debajo una capa de antracita y por último diferentes capas de piedras que aumentan su tamaño en dirección hacia el fondo del filtro. La planta cuenta con seis de estos filtros.

Por último, se encuentra la parte de cloración para eliminar bacterias y materia orgánica. Luego, el que agua sale de los filtros se le inyecta cloro gaseoso. La cantidad aproximada que maneja la planta es de 2.5 miligramos de cloro por litro de agua tratada. Al aplicar el cloro, se permite que el agua tratada pase por una serie de placas deflectoras para permitir que el cloro logre reaccionar de forma homogénea. Este proceso termina en un tanque de aguas claras, en donde esta agua ya es disponible para su distribución.

Figura No. 33. Plano de planta de tratamiento de agua "Lo de Coy".



IV. JUSTIFICACIÓN

La empresa municipal de agua (EMPAGUA), en la ciudad de Guatemala, es responsable de proveer el servicio público de agua potable a la mayoría de habitantes de la ciudad. Para lograr satisfacer la necesidad de toda la capital, EMPAGUA cuenta con cinco plantas de procesamiento y pozos ubicados dentro de la ciudad. Las plantas con las que trabaja son: Lo de Coy, El Cambray, Ojo de Agua, Las Ilusiones y Santa Luisa.

Durante el proceso se separan del agua los sólidos suspendidos, utilizando un químico floculante, que logra sedimentar las partículas, logrando que depositen en el fondo por medio de la acción de la gravedad y diferencia de densidad. El agua limpia se decanta en la parte superior. Al analizar el proceso de purificación hasta esta etapa, que se conoce como sedimentación, se observó que los sólidos residuales sedimentados son inapropiadamente desechados al río.

El decreto 236-2006 junto con sus reglamentos, establece los límites permitidos de contaminantes y sólidos suspendidos que deben encontrarse en las aguas residuales al momento de ser descartadas a los cuerpos receptores. De acuerdo a estos reglamentos, el nivel de sólidos suspendidos en las descargas de la planta de tratamiento "Lo De Coy" superan los límites.

Actualmente se están creando otras leyes y reglamentos para el cuidado del medio ambiente y ha tomado un gran rigor en los últimos años. La mayoría de las personas se comienzan a preocupar por el cuidado del medio ambiente y la forma en la que los desechos pueden ser reutilizados para obtener nuevos beneficios y no contaminarlo. A pesar de que se estén creando reglamentos, la conciencia ambiental únicamente se logra con educación e información adecuada.

El megaproyecto se creó gracias a la conciencia ambiental y la motivación a mejorar el proceso de tratamiento de agua por medio de estudiantes de diferentes carreras de la Universidad del Valle de Guatemala. El propósito era encontrar una solución al tratamiento de los sólidos residuales, ya sea preventivo o correctivo, para lograr reutilizarlos y disminuir la cantidad de químicos floculantes al aumentar la eficiencia del proceso de tratamiento de agua. Al lograr desarrollar dichas mejoras, se obtendrían dos beneficios muy grandes: Incrementar las utilidades de EMPAGUA por medio de reutilización del agua desechada al momento de lavar los tanques de sedimentación y la utilización de sólidos como un producto. El segundo es el mejoramiento en el aspecto

ambiental del país, ya que se disminuirá de mayor forma la emisión de desechos al ambiente.

Dicho desarrollo se realizará en la planta Lo de Coy, debido a que es la que más capacidad de producción posee. Esta se alimenta por medio de dos ríos, Xahyá y Pixcayá, brindando un caudal de agua de aproximadamente $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ó $112,320 \text{ m}^3/\text{día}$. En esta planta se cuenta con cuatro tanques de sedimentación, los cuales se lavan al tener un volumen aproximado de $1,077.72 \text{ m}^3$ por tanque. El tiempo de lavado varía dependiendo de la época; en invierno el agua entra a la planta con una turbidez mayor, por lo que el tiempo entre lavados es más corto. En una temporada seca, los volúmenes de lodos desechados son de aproximadamente $4,308 \text{ m}^3$ y en invierno $8,616 \text{ m}^3$ (durante el verano se lavan los tanques cada dos semanas y en invierno cada semana), por cada sesión de lavado de todos los tanques.

Para lograr obtener un producto a partir de los desechos de sedimentación se realizó proceso en el cual se debe eliminar el agua hasta obtener un valor aceptado para ser manejado por la empresa o algún tercero. El porcentaje de humedad a la salida de los tanques de sedimentación es de aproximadamente 90%, el cual es muy alto y dificulta su forma de manejo. Debido a dicha dificultad, se creó un sistema en el cual se elimina el agua en exceso, retornándola a la planta y un patio de secado de lodos hasta obtener la humedad deseada con un beneficio económico que aumentará la eficiencia de la planta "Lo De Coy".

Como anteriormente se mencionó, parte del proyecto consiste en crear un impacto ambiental positivo. Para trabajar en conjunto, el proyecto desarrolló un aspecto educacional donde se guiará a las personas a tomar una conciencia ambiental. Esto se logra aprovechar gracias a que EMPAGUA realiza recorridos diarios a niños de diferentes centros educativos. Este aspecto educacional logrará crear, paralelamente a la reutilización de los sólidos, una mayor conciencia ambiental y crear un impacto más grande que abarque tanto el cuidado del agua como el no desechar basura donde no corresponde afectando diferentes cuerpos.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Proponer un proceso de transformación y utilización de los sólidos producidos en la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy", EMPAGUA, que involucre los aspectos educativos ambientales, técnicos y económicos para ser implementado en futuras operaciones.

B. Objetivos específicos:

1. Ofrecer a los responsables del departamento de Educación de la planta "Lo de Coy", un programa educativo relacionado con el tema del agua, para estudiantes del Segundo Ciclo del Nivel Primario, que promueva en ellos un sentido de responsabilidad con el cuidado de este elemento.
2. Realizar un análisis de impacto ambiental de los métodos de disposición final de los lodos de la planta de EMPAGUA "Lo de Coy" y determinar métodos de implementación a corto plazo para reducirlo.
3. Obtener las curvas de secado por medio de convección de aire para el tipo de sólidos residuales tratados en la planta "Lo De Coy" y aplicarlas para obtener las condiciones en el proceso de secado a escala real.
4. Determinar las propiedades físicas y químicas de los sólidos residuales experimentalmente, para utilizarlas en los procesos de secado.
5. Evaluar diferentes alternativas y diseñar un proceso técnicamente viable de secado de sólidos residuales a partir de mejores condiciones evaluadas de secado.
6. Diseñar el sistema de tratamiento de sólidos residuales dentro de la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy".
7. Evaluar y diseñar un sistema de transporte de los sólidos residuales desde el equipo de eliminación de agua en exceso hasta el espacio final de secado.
8. Evaluar y diseñar un sistema de almacenaje y alimentación de cal para la estabilización de sólidos residuales.

9. Diseñar la planta de tratamiento de sólidos residuales dentro de la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy".
10. Determinar la cantidad y calidad del lodo que se desecha al río Villa Lobos por cada lavado de tanque que se efectúa y el impacto ambiental que tienen dichos lodos en el río.
11. Determinar la cantidad de agua potable y la energía utilizada en la limpieza de los tanques actualmente y descubrir formas de reducir dichas cantidades a corto plazo.
12. Determinar el impacto ambiental del método de tratamiento a largo plazo diseñado por los integrantes del Megaproyecto "Manejo de desechos sólidos residuales del tratamiento de agua en la planta 'Lo de Coy' de EMPAGUA".
13. Hacer un análisis de los beneficios que puede traer a la empresa EMPAGUA el tener una disposición final adecuada de los lodos.
14. Determinar los parámetros necesarios para el diseño de tornillos transportadores, tolvas y silos.
15. Determinar del tiempo de residencia del agua en floculadores por medio de la realización de un estudio de tiempos desde el inicio de floculación hasta el final de este proceso, para realizar una propuesta de mejora del mismo.
16. Realizar una propuesta de implementación de mejora continua y análisis de riesgos y peligros de la planta de tratamiento de aguas "Lo de Coy".
17. Determinar los costos de limpieza en los sedimentadores debido al uso de floculantes y proponer un sistema para la reducción de los mismos.
18. Realizar la evaluación y estudio financiero de la propuesta de implementar una planta de secado de lodos y verificación de su rentabilidad por medio de una tasa mínima atractiva de rendimiento con flujos de efectivo proyectados.

19. Adecuar el programa a los requerimientos del Currículum Nacional Base para el área de Ciencias Naturales y Tecnología del segundo ciclo del Nivel Primario y Ciclo de Educación Básica del Nivel Medio; a través de estrategias educativas integrales para concientizar en los estudiantes la importancia del cuidado del agua y disminución en los desechos sólidos contaminantes; así como el de informar sobre la labor educativa de EMPAGUA.

20. Promover espacios de reflexión y auto evaluación que lleven a los alumnos a implementar actividades de conservación y protección del recurso natural del agua.

21. Ofrecer un programa para estudiantes de todo tipo de grupos sociales que puedan tener acceso a una computadora e Internet y que realicen las actividades que el programa ofrece; en donde se integra la tecnología multimedia en el proceso de aprendizaje. Así también se entrega la versión impresa.

VI. METODOLOGÍA

Para lograr desarrollar un sistema rentable de secado de lodos, es necesario conocer acerca de sus propiedades físicas y químicas, por lo que las evaluaciones fueron la primera etapa del proyecto. Se comenzó por determinar qué compuestos tienen los lodos. La segunda parte, fue determinar el tamaño de partículas en suspensión crean los flóculos. Para esto se determinó un análisis granulométrico de los sólidos a la humedad a la cual salen de los tanques de sedimentación. Esto se realizó para conocer a qué número de malla los sólidos se retendrán y se permitirá un filtrado para separar el agua en exceso.

Luego se trabajó con el proceso de secado de sólidos, donde se determinó la curva de secado a partir de condiciones en el laboratorio, el cual se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Se utilizó una corriente de aire caliente en un equipo presente en el laboratorio. Es necesario conocer las condiciones a las cuales se trabaja el aire de operación y las condiciones ambientales en cada proceso. Se utilizaron planchas con un lado sellado.

Luego de haber conocido las curvas de secado y propiedades fisicoquímicas del sólido a manejar, se diseñó una planta piloto para eliminar la humedad en exceso, e incorporar los sólidos húmedos a un secador de mayor escala. Con las curvas de secado, se determinó el tiempo y energía necesarios para lograr secar los sólidos hasta la humedad deseada bajo las mismas condiciones en las pruebas experimentales. También se diseñó un equipo para eliminar la humedad en exceso de forma continua, según los flujos óptimos determinados por otro integrante del grupo.

La siguiente etapa fue unificar el sistema de eliminación de agua en exceso y secado en el cual se incorporó un tornillo sin fin. Por último, se realizó un diseño de planta conjuntamente con el equipo en el cual se evaluó la parte técnica y económica real del proceso de secado de sólidos y retorno del agua desechada.

VII. CRONOGRAMA

	Mayo							Junio				Julio			
	30(abr) al 4	7 al 11	14 al 18	21 al 25	28 al 1 (jun)	4 al 8	11 al 15	18 al 22	25 al 29	2 al 6	9 al 13	16 al 20	23 al 27		
Reunión grupal (Jueves)															
Reunión con EMPAGUA															
Reunión con asesor															
Visita recolección de muestra															
Pruebas granulométricas															
Pruebas de secado															
Diseño secador experimental															
Creación secador experimental															
Diseño eliminación agua exceso experimental															
Creación eliminación de agua exceso experimental															
Experimentación sistema eliminación agua en exceso-secado lodos de forma individual y unida.															
Diseño proceso eliminación de agua industrial															
Diseño proceso secado de lodos industrial															
Evaluación técnica y económica del diseño de planta industrial															
Documentación de resultados y trabajo escrito															
Diseño de planta industrial															
Entrega Final															
Presentación privada															
Presentación pública															

VIII. RESULTADOS

A. Impacto ambiental del método de tratamiento de lodos actual.

Tabla No. 32. Volúmenes obtenidos de los tanques de sedimentación, antes y después del proceso de drenaje y durante la limpieza de los mismos.

	Volumen de un tanque [m ³]	Volumen total anual[m ³]
Agua para lavado de tanques	510.536 ± 58.326	44,927.143 ± 672.066
Agua clarificada contenida en tanque de sedimentación (previo al drenaje del tanque)	1,868.055 ± 1.681	164,388.840 ± 114.083
Lodos residuales en tanque de sedimentación lleno (previo al drenaje del tanque)	1,077.720 ± 1.480	94,839.360 ± 107.062
Lodos residuales remanentes en tanque vacío (después del drenado del tanque)	420.825 ± 0.100	37,032.600 ± 27.836

Tabla No. 33. Volumen de cada compuesto químico presente en los lodos en base a porcentajes masa-masa obtenidos en el análisis de los lodos.

Compuesto Químico	Volumen del compuesto en un tanque [m ³]	Volumen del compuesto generado anualmente por los 4 tanques [m ³]
SiO ₂	382.90 ± 0.4588	33,695.143 ± 59.608
Fe ₂ O ₃	13.77 ± 0.0355	1,211.776 ± 16.576
Al ₂ O ₃	82.11 ± 0.1013	7,226.043 ± 28.015
CaO	8.83 ± 0.0512	777.286 ± 19.907
MgO	0.00 ± 0.0000	0.000 ± 0.000
K ₂ O	14.17 ± 0.0734	1,246.552 ± 23.849
Na ₂ O	15.55 ± 0.0763	1,368.695 ± 24.307
SO ₃	0.00 ± 0.0000	0.000 ± 0.000
P ₂ O ₅	3.59 ± 0.0705	315.708 ± 23.361
TiO ₂	1.71 ± 0.0398	150.398 ± 17.554
Cr ₂ O ₃	0.16 ± 0.0322	14.171 ± 15.793
MnO	0.60 ± 0.0334	52.944 ± 16.090

Tabla No. 34. Impacto ambiental de cada compuesto químico desechado en el río Villalobos.

Compuesto químico	Volumen anual desechado [m ³]	Impacto ambiental en ecosistema río Villalobos
SiO ₂	33,695.14	<ul style="list-style-type: none"> • Ocurre naturalmente. Sin embargo, al ser depositado en un ecosistema acuático en cantidades grandes, el ciclo natural de remoción se puede ver afectado. • Insoluble en agua. • Aumento en la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua del río.
Al ₂ O ₃	7,226.04	<ul style="list-style-type: none"> • El aluminio es tóxico para los peces, se adhiere a las branquias de los peces causando fallos respiratorios. • Los residuos tienden a acumularse cerca del punto de descarga. • Pueden causar efectos adversos en el ecosistema, tales como el desarrollo de condiciones anaerobias. • Formación de depósitos de lodos en áreas inmóviles del arroyo. • Efectos tóxicos en organismos acuáticos de contaminantes presentes en el lodo. • Aumento en las concentraciones de aluminio en fuentes de agua. • Problemas de estéticos relacionados al flujo de agua, niveles de turbidez, y dilución de lodos.
Fe ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, Na ₂ O, y P ₂ O ₅	4,920.02	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrientes de ecosistemas acuáticos. • En concentraciones altas tienen efectos adversos en vida acuática. • Crecimiento desmesurado de alga fotosintética y cianobacteria, lo que lleva a la eutrofización del río y contribuye a la eutrofización del lago de Amatitlán. • Reducción de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. • Reducción del valor estético de los ecosistemas acuáticos.

B. Comparación del impacto ambiental actual con el impacto ambiental del sistema propuesto.

Tabla No. 35. Comparación anual de los volúmenes residuales del proceso actual de vaciado y limpieza de los clarificadores, y el proceso propuesto.

	Proceso actual	Proceso propuesto
Agua clarificada desechada al río Villalobos [m ³]	164,388.84	0.00
Lodos suspendidos desechados al río Villalobos [m ³]	1,077.72	0.00
Agua de lavado de tanques utilizada [m ³]	44,927.14	34,677.78
Agua recuperada [m ³]	0.00	199,066.62
Lodos recuperados [m ³]	0.00	3,7032.60
Consumo energético [kWh]	1,804.59	12,380.52
Emisión de CO ₂ [Tm]	1.24	8.54

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

C. Calendarización de lavado de tanques para sistema propuesto.

Tabla No. 36. Calendarización de lavado de tanques de sedimentación para el sistema de tratamiento de lodos y agua propuesto.

Época verano (noviembre-abril)	Lavar un tanque cada 3 ó 4 días a fin de permitir que los lodos se sequen completamente.
Época invierno (mayo-octubre)	Lavar dos tanques al inicio de la semana a fin de permitirles el tiempo de secado necesario.

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

D. Proceso de secado de los sólidos residuales.

1. Proceso de secado por medio de convección de aire:

Tabla No. 37: Resultados de la curva de rapidez de secado de los sólidos residuales por medio de convección de aire.

X (kg humedad/Kg lodo seco)			N (Kg/m ² *min)		
4.263	±	1.633	0.0016	±	0.0004
3.917	±	1.330	0.0028	±	0.0015
3.579	±	1.202	0.0028	±	0.0011
3.228	±	1.027	0.0034	±	0.0011
2.308	±	0.578	0.0036	±	0.0010
1.682	±	0.336	0.0036	±	0.0011
1.268	±	0.238	0.0036	±	0.0010
0.959	±	0.155	0.0034	±	0.0010
0.733	±	0.111	0.0034	±	0.0010
0.556	±	0.096	0.0029	±	0.0010
0.430	±	0.078	0.0020	±	0.0006
0.347	±	0.058	0.0015	±	0.0007
0.295	±	0.043	0.0011	±	0.0005
0.261	±	0.042	0.0007	±	0.0004
0.245	±	0.044	0.0003	±	0.0002
0.239	±	0.045	-0.0002	±	0.0004
0.167	±	0.116	-0.0005	±	0.0004

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Gráfica No. 1. Curva de rapidez de secado de los sólidos residuales.

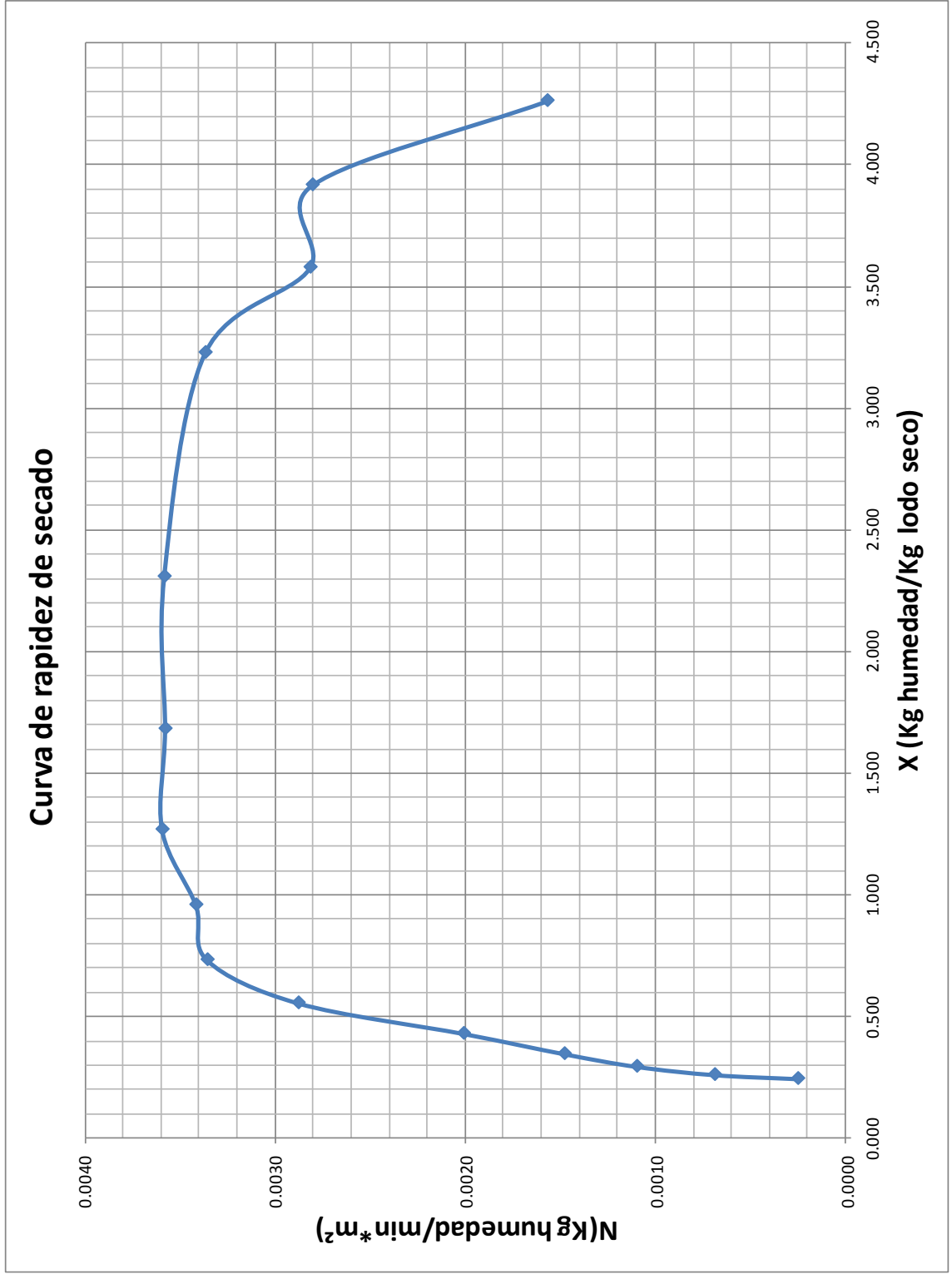


Tabla No. 38: Resultados para el secado por medio de convección de aire a 56 grados Celsius, 50% humedad y velocidad de 11.5 m/s

	Masa total a 70% humedad (Kg)	Rapidez de secado (Kg/min*m ²)	Tiempo de secado para bandeja de 1m ²	Cantidad de bandejas necesarias	Potencia necesaria para el proceso (KJ)
Lodo	356,643.90	0.0035 ± 0.0001	18,930.09 ± 403.94	10,662	4.23*10 ⁷ ± 9.73*10 ⁵

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

2. Proceso de secado por medio de un secador continuo.

Tabla No. 39: Resultados de energía y combustible necesarios para un secado continuo.

	Masa total a 70% humedad (ton)	Tiempo de secado (h)	Energía necesaria (kJ/h)	Flujo de gas propano necesario (kg/h)
Sólidos residuales	356.64	72	4.61*10 ⁷	995

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

3. Proceso de secado por medio de energía solar:

Tabla No. 40: Tiempo y área necesarios para el patio de secado solar con el flujo de aire en la planta "Lo De Coy".

	Espacio secado (m ²)	Volumen galera (m ³)	Tiempo de secado (h)	Flujo de aire en la planta (m ³ /h)	Renovaciones disponibles (ren/h)	Renovaciones necesarias (ren/h)
sólidos residuales	666.67	3600	56	1,058,400	294	0.03

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

E. Diseño y dimensionamiento de banda transportadora para eliminar el agua en exceso.

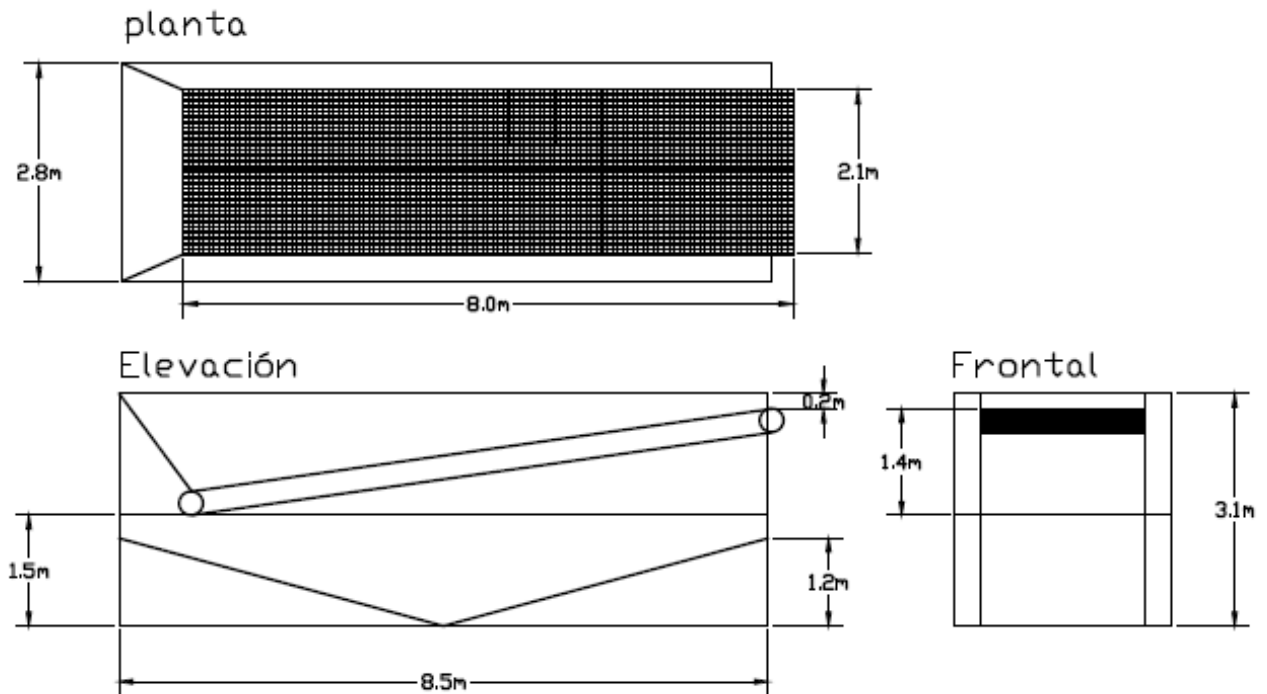
La banda a utilizar es una banda marca intralox serie 100 flush grid. Las especificaciones se muestran a continuación.

- Longitud: 8m

- Ancho: 2.134m
- Elevación: 1.4m
- Material: Polipropileno resistente a condiciones abrasivas y sucias.
- Potencia necesaria: 5hp (Motor leeson AAF2BT61)
- Modificaciones: Se adaptará una malla marca TWP de acero inoxidable 304 mesh 80.

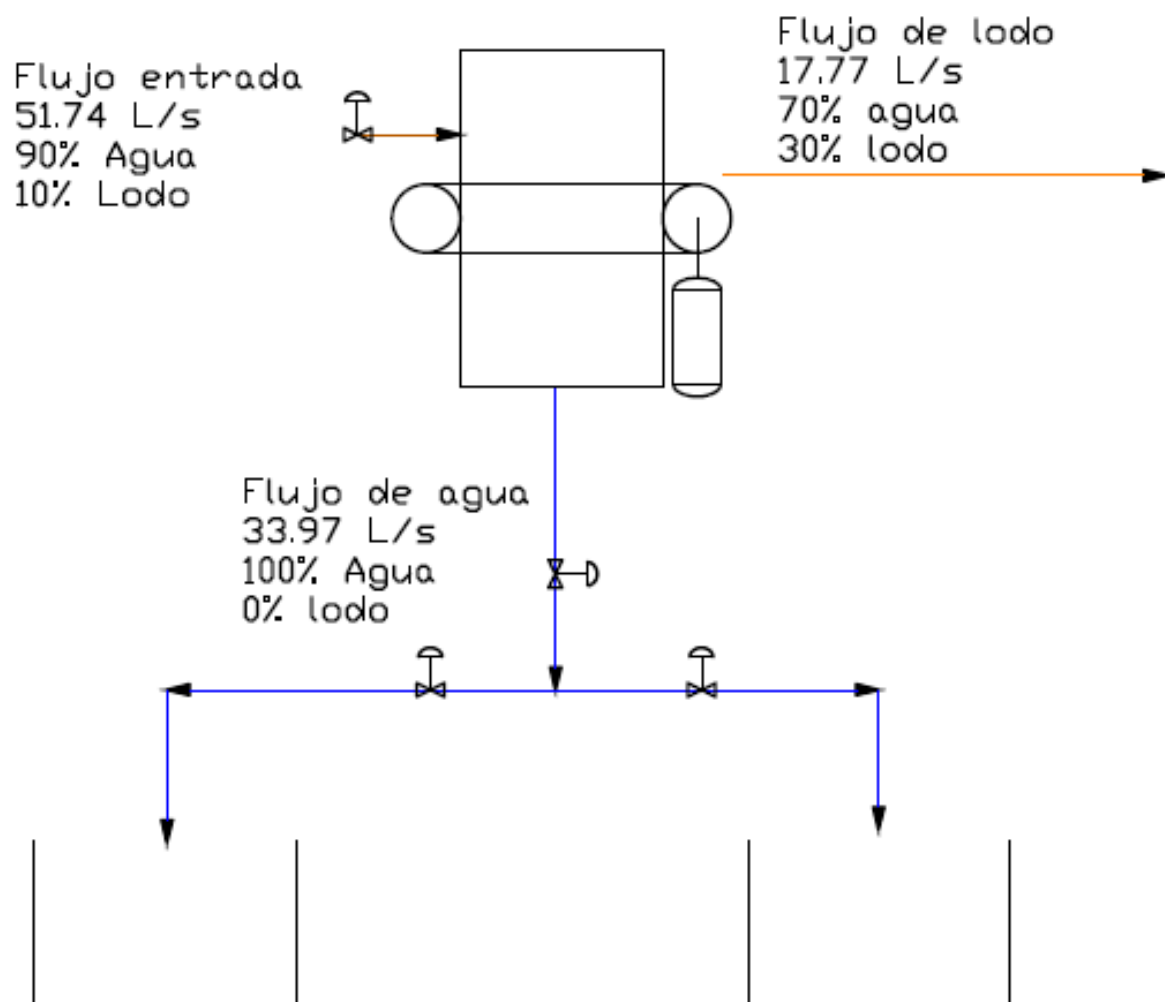
Las dimensiones del filtro y su configuración se muestran a continuación.

Diagrama No.1: Representación a diferentes vistas de la banda transportadora.



El diagrama de flujo del filtro se muestra a continuación.

Diagrama No.2: Diagrama de flujo para la banda transportadora.



F. Diagrama de flujo de la planta de secado y estabilización de sólidos residuales en la planta "Lo De Coy".

Diagrama No.3: Diagrama de flujo de la planta de secado y estabilización de sólidos residuales en la planta "Lo De Coy".

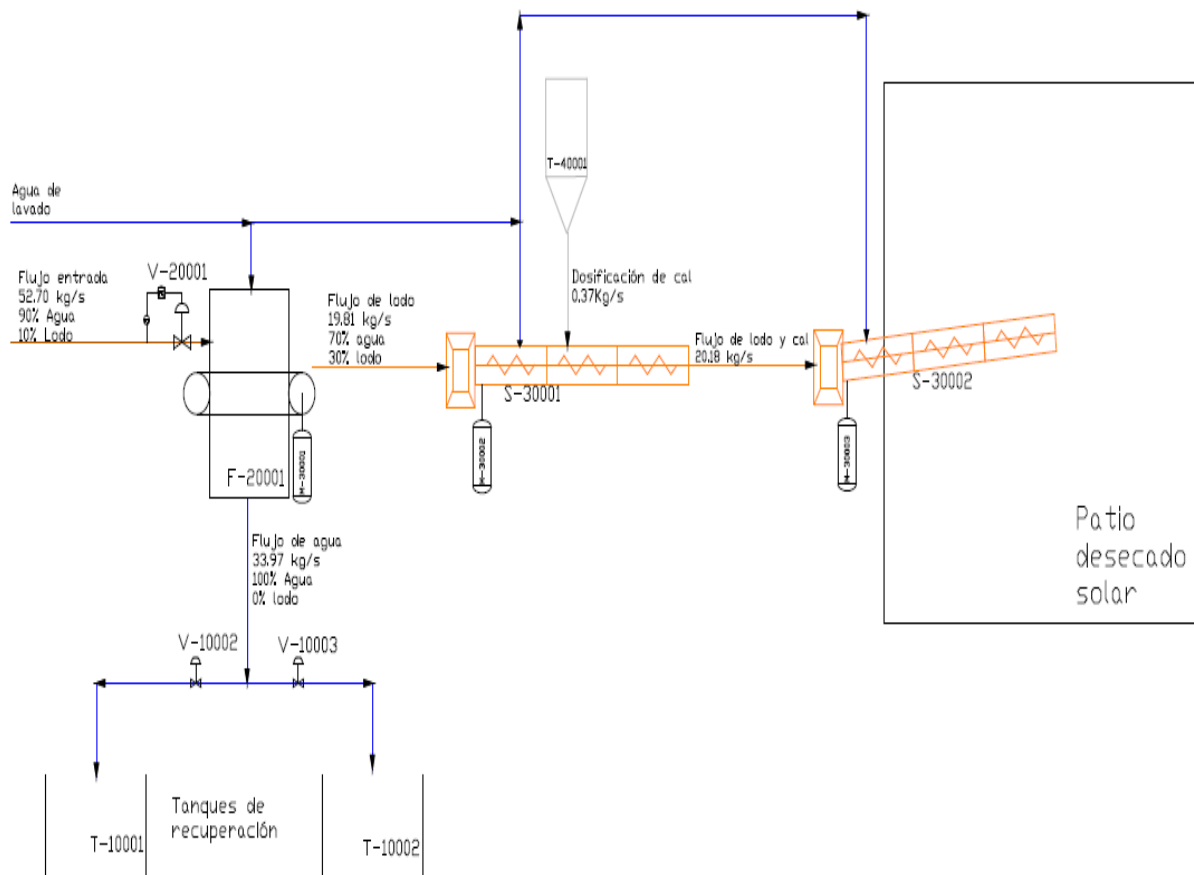


Tabla No. 41: Tabla de referencia para los equipos mostrados en el diagrama de flujo.

No.	TAG	Descripción	Tipo	Capacidad/ dimensiones
1	V-20001	Válvula de control de flujo	Mariposa	12"
2	V-10002	Válvula de paso hacia tanque de recuperación 1	Compuerta	12"
3	V-10003	Válvula de paso hacia tanque de recuperación 2	Compuerta	12"
4	T-10001	Tanque de recuperación 1 (ya instalado)		14m
5	T-10002	Tanque de recuperación 2 (ya instalado)		14m
6	T-40001	Tolva almacenaje y dosificación de cal	Cónico	5m ³
7	F-20001	Filtro banda		60.31 kg/m ²
8	M-30001	Motor filtro de banda	trifásico	3.73kw
9	M-30002	Motor transportador de tornillo sin fin	trifásico	3.73kw
10	M-30003	Motor transportador de tornillo sin fin hacia patio de secado	trifásico	7.46kw
11	S-30001	Tornillo sin fin	Vuelo de cinta de corte	20"
12	S-30002	Tornillo sin fin hacia patio de secado	Paso corto	20"

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

G. Parámetros, cultivo, pruebas de resistencia, dimensionamiento de transportador tornillo sin fin y dimensionamiento del patio de secado.

1. Composición química del Lodo proveniente de EMPAGUA.

Tabla No. 42. Informe de ensayo de laboratorio químico de lodo residual de EMPAGUA.

Contaminante	Composición química [%]
SiO ₂	50.56
Fe ₂ O ₃	4.30
Al ₂ O ₃	19.39
CaO	1.76
MgO	0.00
K ₂ O	1.98
Na ₂ O	2.10
SO ₃	0.00
P ₂ O ₅	0.51
TiO ₂	0.43
Cr ₂ O ₃	0.05
MnO	0.18

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

1. Densidad relativa y porcentaje de absorción del Lodo proveniente de EMPAGUA.

Tabla No. 43. Densidad relativa y absorción.

Muestra	Densidad [g/cc]	Absorción [%]
Lodos	1.56	57.2

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

2. Índice de plasticidad del Lodo proveniente de EMPAGUA.

Tabla No. 44. Índice de plasticidad.

Resultados	
Método utilizado	B
No. de ensayo.	1
% Limite líquido	0
% Límite plástico	0
% Índice de plasticidad	0
Clasificación del suelo	PT

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.

3. Descripción del suelo.

Limo arenoso color café oscuro suelo altamente orgánico.

4. Parámetros determinados experimentalmente de los Lodos provenientes de EMPAGUA.

Tabla No. 45. Parámetros del lodo residual de EMPAGUA.

Descripción	Parámetro					
	Composición orgánica [%]	Humedad [%]	Ceniza [%]	Densidad [kg/m ³]	Viscosidad [kg/ms]	Capacidad calorífica [kJ/kg]
Lodo húmedo	3.75	5 – 7	28	1,115	0.18	-
Lodo seco	20	79 - 85	-	-	-	945.74

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

5. Alturas registradas en el huerto de plantas de milpa.

Tabla No. 46. Altura de la milpa respecto a cada semana para milpa en cajas plásticas.

Muestra	Fecha	Altura [cm]	Muestra	Fecha	Altura [cm]
Control	10/09/2012	3	5% Lodo	10/09/2012	2
	17/09/2012	13		17/09/2012	9
	24/09/2012	22-24		24/09/2012	20
	01/10/2012	33		01/10/2012	23
	08/10/2012	35		08/10/2012	28

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 47. Altura de la milpa respecto a cada semana para milpa en macetas.

Muestra	Fecha	Altura [cm]	Muestra	Fecha	Altura [cm]	Muestra	Fecha	Altura [cm]
Control	17/09/2012	4	5% Lodo	17/09/2012	0	10% Lodo	17/09/2012	3
	24/09/2012	26		24/09/2012	10		24/09/2012	30
	01/10/2012	28		01/10/2012	15		01/10/2012	32
	08/10/2012	37		08/10/2012	17		08/10/2012	35

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

6. Biomasa producida en el huerto de plantas de cilantro.

Tabla No. 48. Peso obtenido de biomasa en cada muestra.

Descripción	Peso bolsa [g]	Peso total [g]	Biomasa de cilantro [g]
Control	5.6	25.10	19.50
5% Lodo	5.6	25.60	20.00
10% Lodo	5.6	31.70	26.10

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

7. Consistencia del suelo determinada de los lodos provenientes de EMPAGUA.

Tabla No. 49. Resultados de las pruebas de resistencia.

Muestra	Resistencia [kg/cm ²]	Resistencia al corte [kg/cm ²]
Lodo + Cemento 1	0.71	0.36
Lodo + Cemento 2	0.67	0.34
Lodo 1	1.23	0.61
Lodo 2	1.45	0.72

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

8. Dimensiones y requisitos de los transportadores de tornillo sin fin.

Tabla No. 50. Resultados de los tornillos transportadores a utilizar.

Tipo de tornillo	Diámetro del tornillo sin fin [m]	Material de construcción	Longitud del transportador [m]	Flujo a tratar [m ³ /hr]	Velocidad del tornillo [RMP]	Diámetro del eje [m]	Potencia total requerida [Hp]	Deflexión [m]	Torque [Nm]
Vuelo de cinta de corte seccional "lodo"	0.508 (20pulg)	Hierro Fundido	4 (13.12pie)	63.976	36.33	0.0838 (3.30pulg)	4.61 - 5	0.00549 (0.217pulg)	980.02
Vuelo de corte de paso corto "lodo"	0.508 (20pulg)	Hierro Fundido	8 (26.24pie)	63.976	36.33	0.0838 (3.30pulg)	9.29– 10	0.00431 (0.169pulg)	1,960.04
Vuelo de corte de paso corto "cal"	0.1524 (6pulg)	Hierro Fundido	2 (6.560)	0.612	14.40	0.0381 (1.50pulg)	0.101 – 0.5	0	247.25

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

9. Dimensiones del patio de secado.

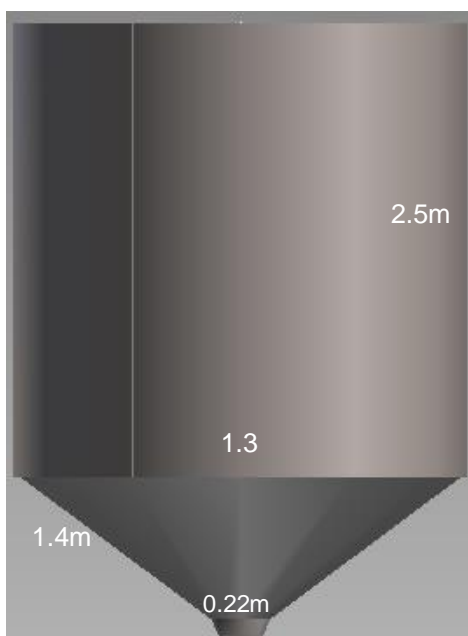
Tabla No. 51. Dimensiones del patio de secado.

Área {m ² }	Largo x Ancho [m]
666.67	25.8 x 25.8

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

10. Dimensiones del silo y tolva para la dosificación de cal.

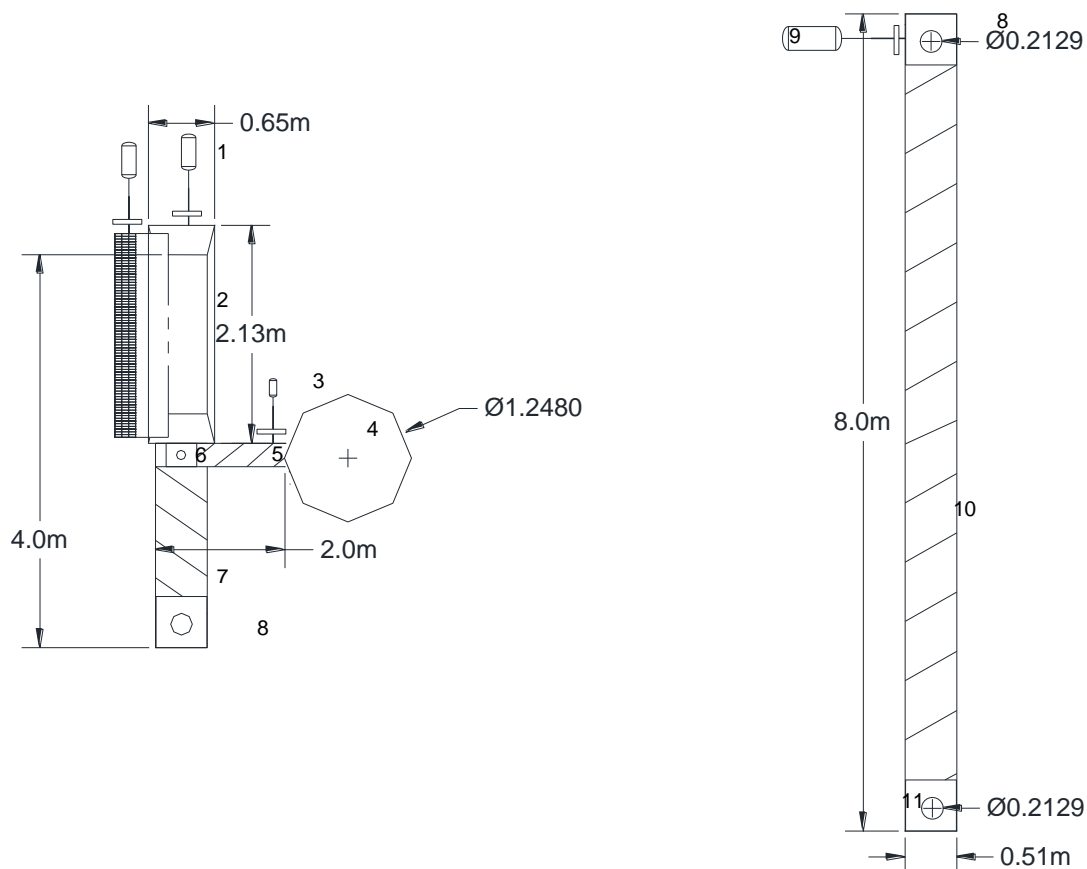
Figura No. 34. Dimensiones del silo y tolva.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

11. Diseño y dimensionamiento para el sistema de estabilización de lodos.

Figura No. 35. Vista de planta del sistema de estabilización de lodos residuales.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 52. Lista de equipos y accesorios de la Figura No. 35.

Lista de equipos y accesorios		
Número	Equipo	Capacidad / Dimensión
1	Motor	3.73 kW
2	Tolva	0.65m x 2.13m
3	Motor	0.075 kW
4	Silo	$\theta = 1.2\text{m}$ $h = 2.5\text{m}$
5	Transportador De tornillo sin fin	$\theta = 0.23\text{m}$ $L = 2\text{m}$
6	Tolva	0.30m x 0.23m
7	Transportador De tornillo sin fin	$\theta = 0.51\text{m}$ $L = 4\text{m}$
8	Tolva	0.50m x 0.50m

9	Motor	7.46 kW
10	Transportador De tornillo sin fin	$\Theta = 20^\circ$, $\theta = 0.51\text{m}$ $L = 8\text{m}$
11	Tolva	0.51m x 0.51m

Donde:

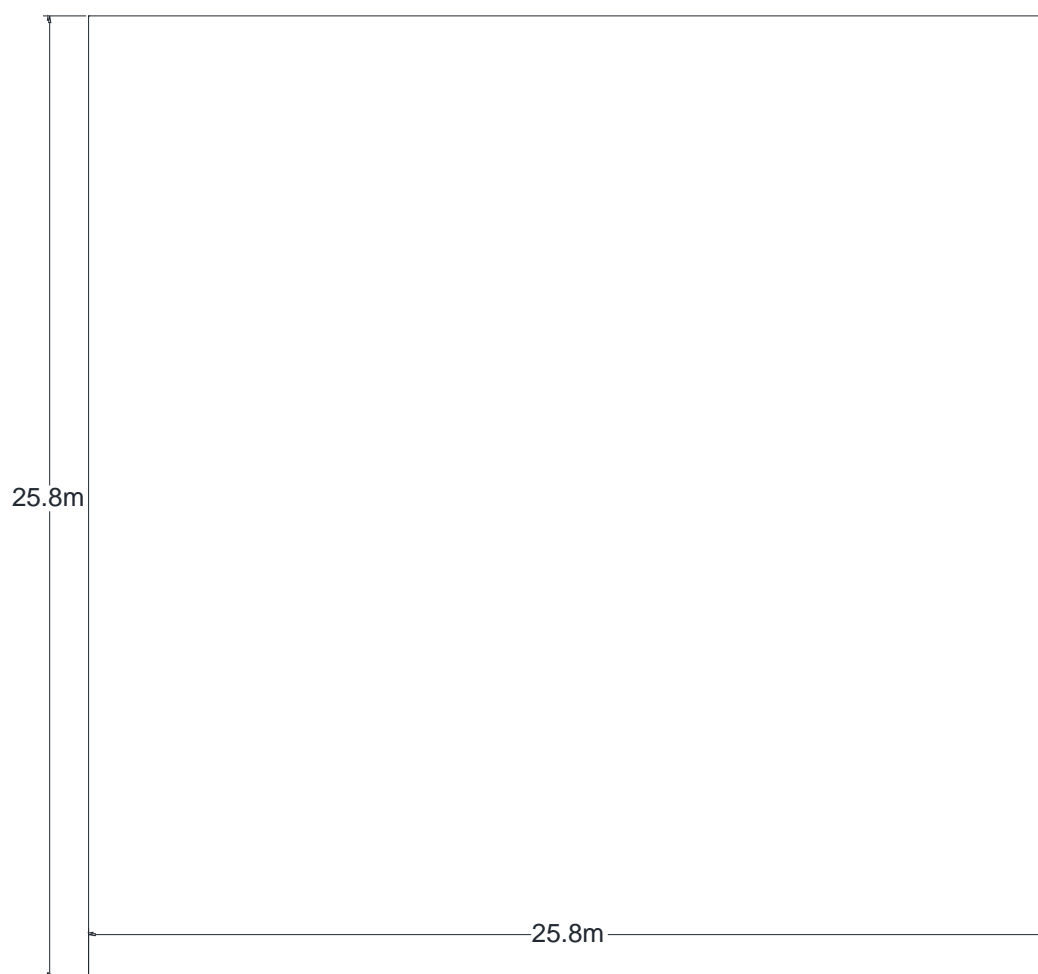
Θ = Grado de elevación

θ = Diámetro

L = Longitud

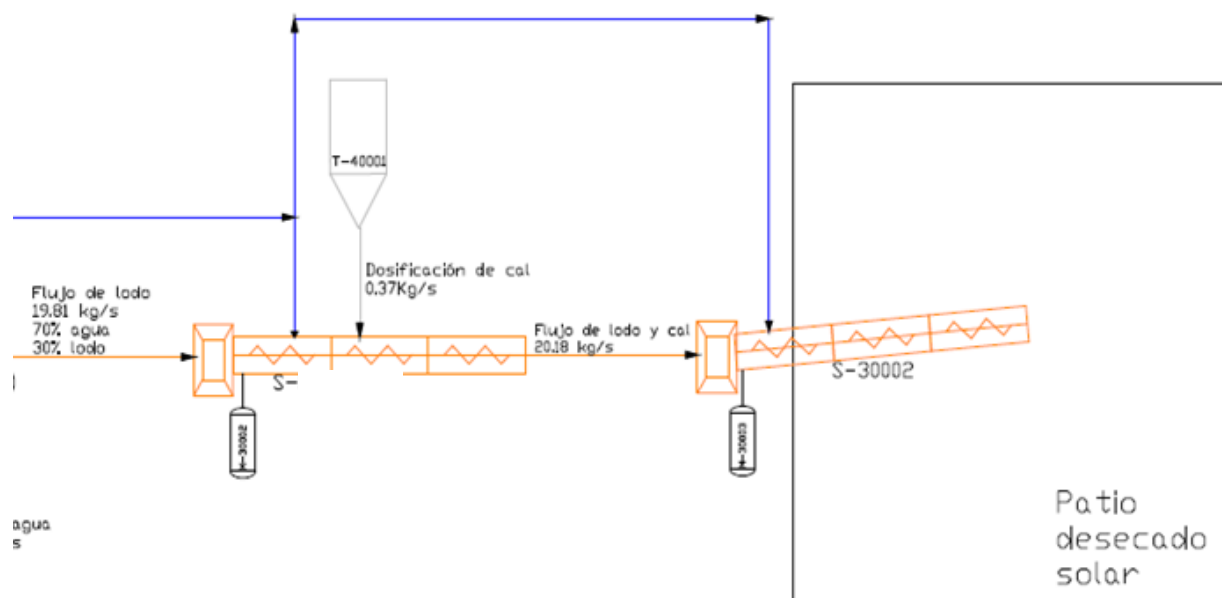
12. Dimensionamiento del patio de secado.

Figura No. 36 Patio de secado.



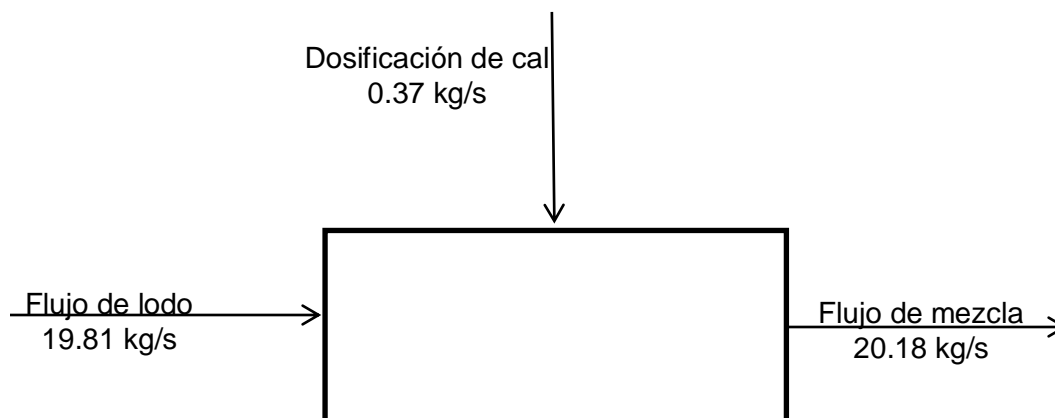
Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

13. Diagrama de flujo



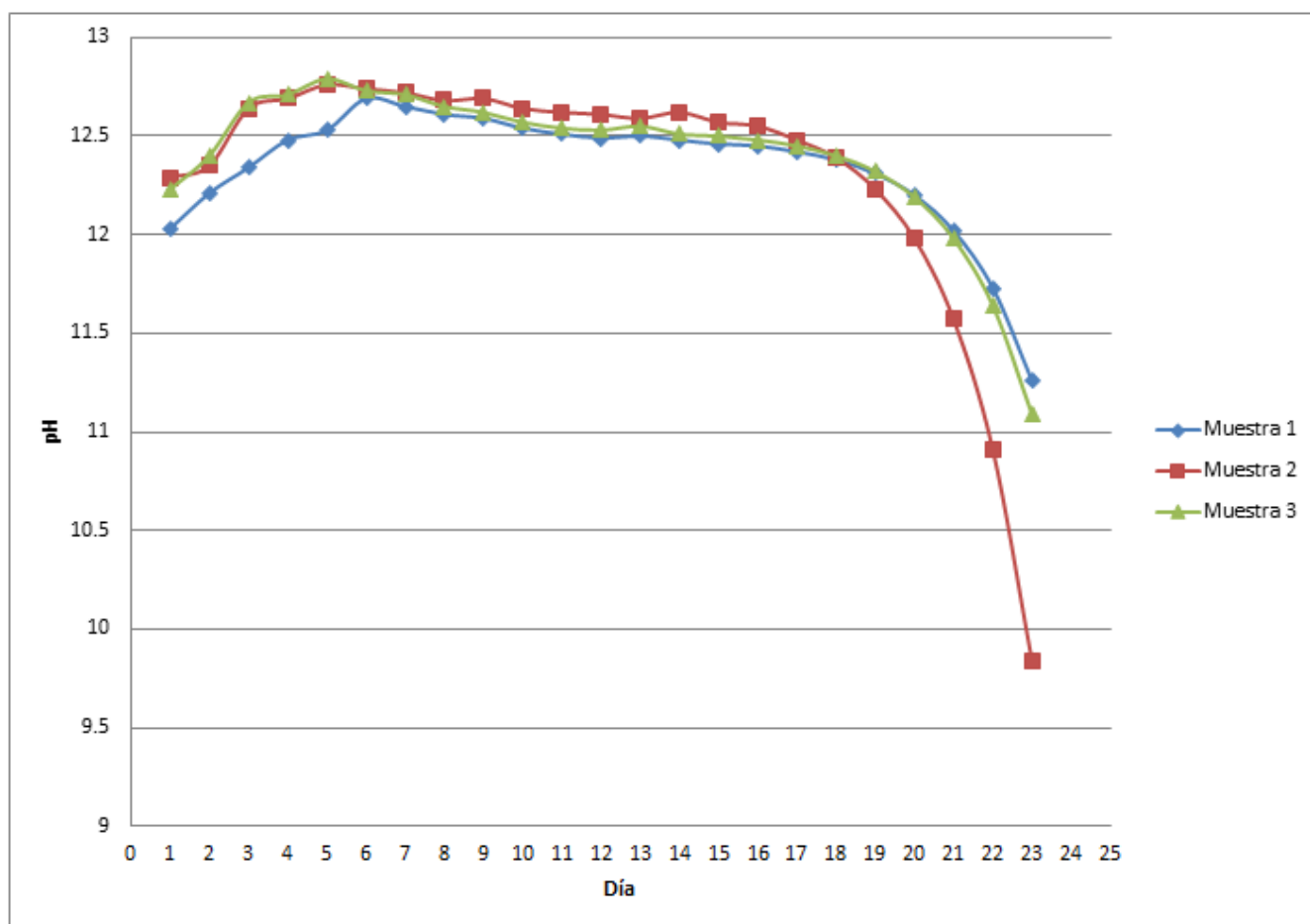
Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

14. Balance de masa.



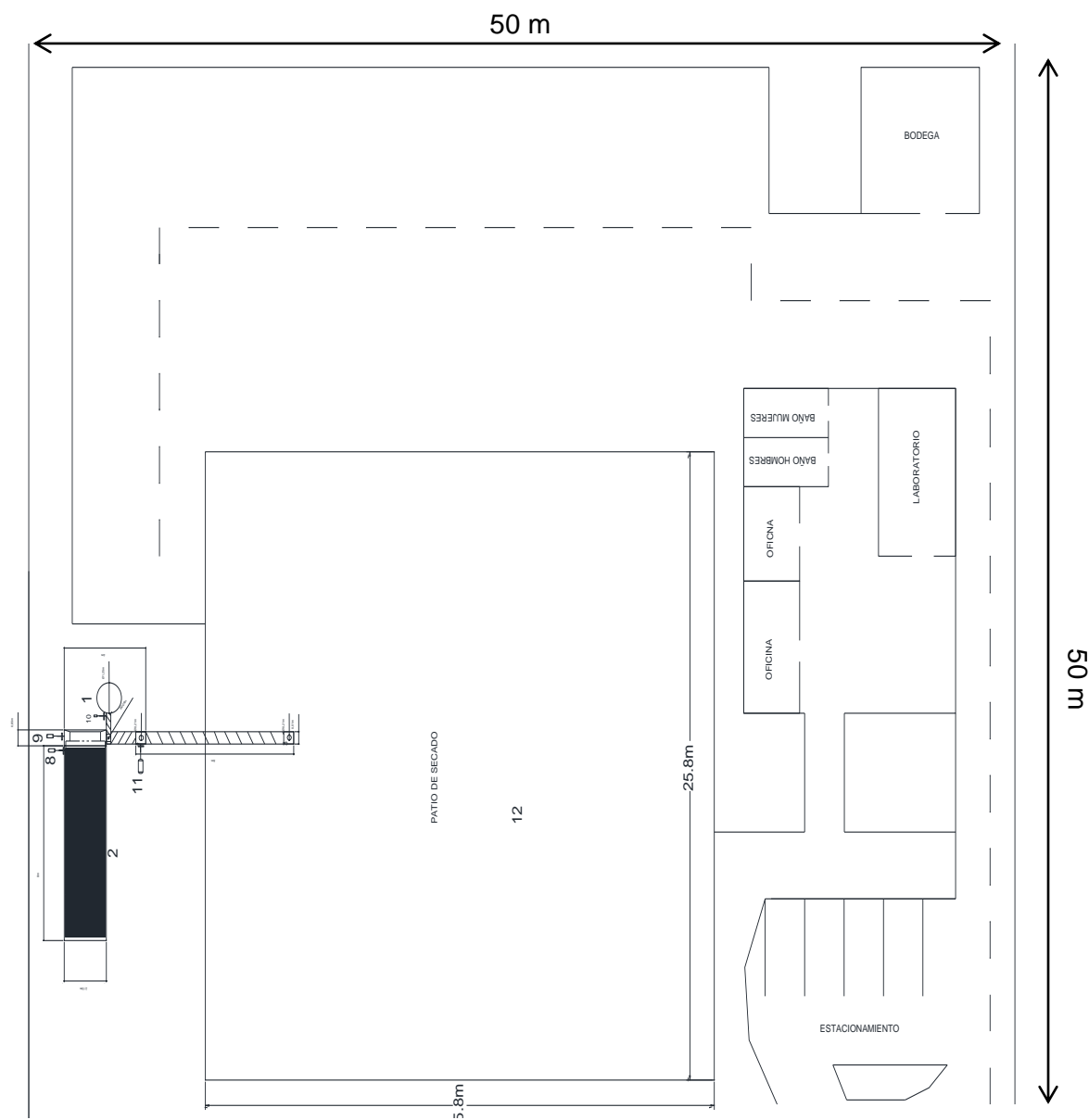
Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Gráfica No. 2. Comportamiento del pH diario del control de estabilización de lodo usando un triplicado de muestra de lodo y una muestra de lechada de cal en un periodo de 25 días.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Figura No. 37 Layout de la planta de tratamiento y secado de lodos residuales de EMPAGUA.



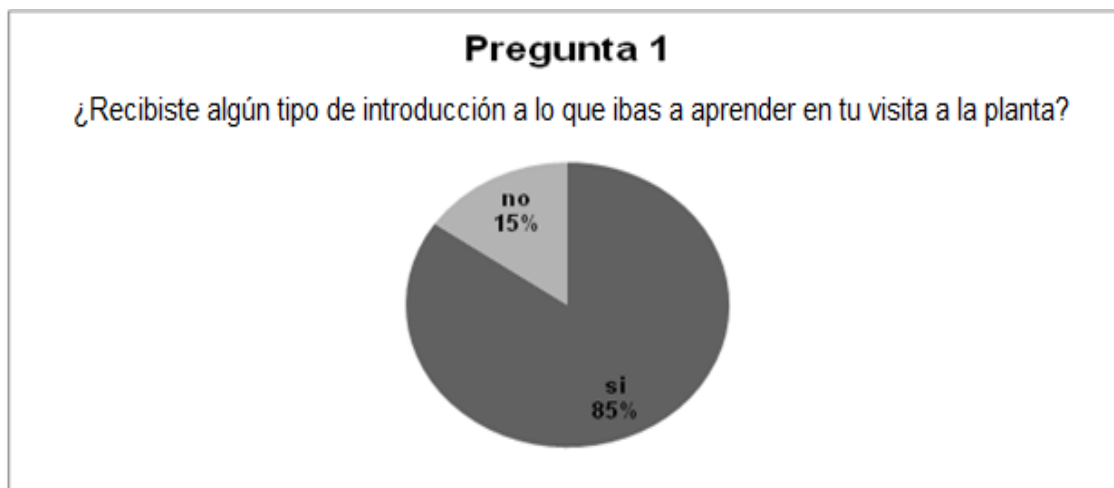
Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

H. Desarrollo del programa educacional.

En esta parte se presentan los resultados obtenidos luego de la aplicación de los instrumentos. Se seleccionaron los resultados más significativos que respondían a toda la parte de la metodología de la investigación. El análisis y discusión de resultados se hizo con base a los aspectos a evaluar del tema de investigación. Se refleja a grandes rasgos una comparación en las distintas preparaciones previas al recorrido en la planta y sus efectos en el aprendizaje de los alumnos.

1. Preparación previa al recorrido. Como pregunta principal y una de las más significativas para recabar información:

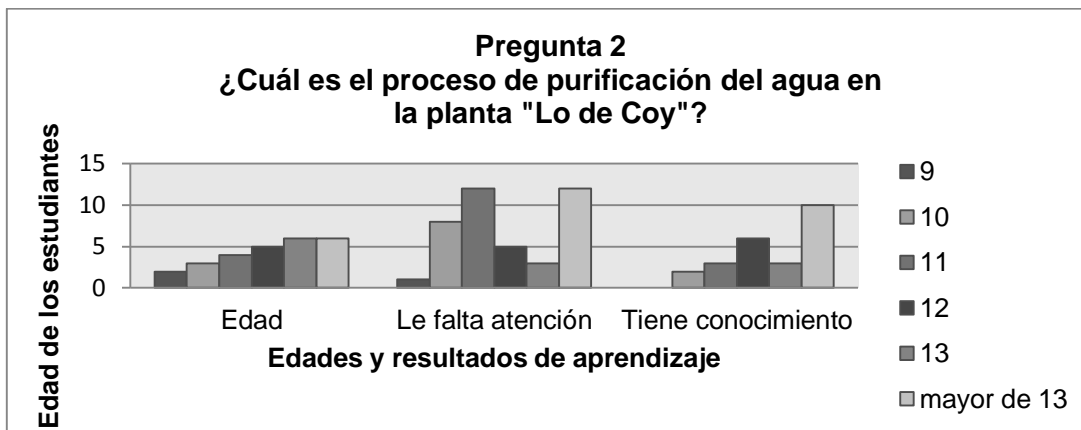
Figura No. 38. Pregunta 1: ¿Recibiste algún tipo de introducción a lo que ibas a aprender en tu visita a la planta?



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

2. Conocimiento en la purificación del agua.

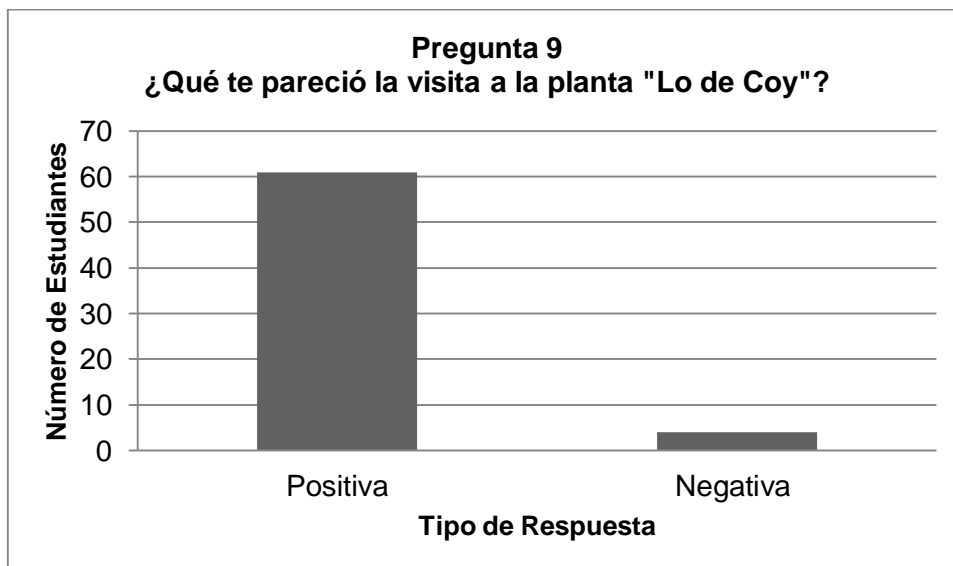
Figura No. 39. Pregunta 2: ¿Cuál es el proceso de purificación de agua en la planta “Lo de Coy”?



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

3. Percepción de la actividad. ¿Qué te pareció la visita a la planta de EMPAGUA “Lo de Coy”?

Figura No. 40. Pregunta 9: ¿Qué te pareció la visita a la planta de EMPAGUA “Lo de Coy”?



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

I. Seguridad industrial

1. Análisis de riesgos y peligros. Éste se muestra con el inventario de peligros, dado que se cuenta con el peligro, su respectiva descripción, el tipo de consecuencia y su descripción, el personal expuesto ante el peligro, su posibilidad de ocurrencia y el riesgo.

Tabla No. 53 Análisis de riesgos y peligros.

Tipo de peligro	Descripción del peligro	Tipo de consecuencia	Descripción de consecuencia	Personal expuesto	Posibilidad de ocurrencia	Riesgo
Sustancias químicas dañinas como el Sulfato de Aluminio	Esta sustancia química puede causar quemaduras a los ojos, la piel y membranas mucosas.	Toxicidad	Que el personal involucrado sufra de irritación o quemaduras en la piel, ojos, tracto respiratorio y tracto gastrointestinal	Esta expuesto el personal encargado del área de tolvas y limpieza de ellas	Probable	Que el operario manipule o maneje el químico sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.
Tanques de gas cloro y la conservación de tanques viejos que muestren signos de corrosión y su posible liberación	El gas cloro puede provocar por inhalación edema pulmonar y corrosión a ojos, piel y tracto respiratorio.	Toxicidad	Que el personal involucrado inhale o esté en contacto directo con el gas cloro y sufra a causa del gas venenoso.	El personal que se encarga de la manipulación de los tanques y personas cerca de los tanques	Improbable	Que se haga un mal uso de los tanques y se manipulen sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.
Que se violen las reglas y procedimientos establecidos	Si son violadas las reglas y procedimientos establecidos se puede influir en el desempeño del control y producción de la planta de tratamiento	Pérdida de producción	La negligencia del personal lleva a pérdida de tiempo y errores que pueden causar pérdidas para la empresa.	Los operadores de la planta de tratamiento	Posible	Negligencia del personal, como distracciones, falta de atención al proceso, mala dosificación de químicos, etc.
Manipulación del mecanismo de administración de sulfato en las tolvas de sulfato de aluminio	Existe un mecanismo para administración de sulfato de aluminio, el cual está descubierto y gira a altas revoluciones	Amputación o herida grave	Puede darse el caso de una amputación o herida grave si el operario toca el mecanismo cuando este en función	Cualquiera cerca de los dosificadores de sulfato de aluminio	Raro	Negligencia del personal, como distracciones, curiosidad, olvido del encendido automático de la maquinaria
Suelo no óptimo para caminar debido a daños u objetos dejados en el camino	Cualquier persona que camine distraídamente en la planta de tratamiento puede tropezar con algo y caer al suelo o salir herido.	Salir lastimado o herido	Puede darse el caso de salir lastimado o herido a causa de una caída ocasionada por un hoyo u objeto mal ubicado	Cualquiera que camine por la planta de tratamiento	Raro	Caminar o correr en lugares agrietados, con objetos o en no buenas condiciones

Tabla No. 54. Análisis de riesgos y peligros (segunda parte).

Tipo de peligro	Descripción del peligro	Tipo de consecuencia	Descripción de consecuencia	Personal expuesto	Posibilidad de ocurrencia	Riesgo
Falta de barandas de seguridad	Que las personas transiten en lugares donde hace falta una baranda de seguridad o dónde sujetarse	Que caigan al proceso o afuera de él	Pueden sufrir una caída en lugares peligrosos fuera o dentro del proceso como floculación o el inicio del proceso	Personas que transiten cerca de los lugares donde no hay barandas de seguridad	Raro	Caminar en las secciones donde no hayan barandas de seguridad o tramos estrechos que carezcan de ellas
Gradas no visibles o posible resbalo	Hay gradas que no son visibles dado que están cubiertas por maleza	Golpes o caídas	Una persona puede salir lastimada si no se percata de las gradas	Cualquier persona que transite en la planta	Improbable	Negligencia del personal, distracciones, cansancio, olvido, zapatos no adecuados, gradas sin superficie de fricción.
Corrosión de barandas en la sección de cloración	Las barandas de seguridad se corroen con el tiempo a causa del cloro	Pérdida de barandas de seguridad para las personas	Esta falta de seguridad puede ocasionar que la persona caiga dentro del proceso e incurra en costos a la empresa	Operarios que transiten en el sector de cloración	Improbable	Utilización de barandas en mal estado en la sección de cloración
Corrosión de bridas de retención de tubería	Los retenedores de la tubería se corroen con el tiempo a causa del cloro	Pérdida de retenedores de tuberías	Los retenedores al ser corroídos se quiebran y la tubería no tiene soporte alguno en el techo de la sección de cloración	Operarios que transiten en el sector de cloración	Posible	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración
Tubería corroída	La tubería de la sección de cloración se corroe con el tiempo	Fracturación o deterioro de tubería	Las tuberías al corroerse pueden deteriorarse y fracturarse, provocando una fuga de líquido	Operarios que transiten en el sector de cloración	Posible	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración

2. HEMP de la planta de tratamiento de agua

Tabla No. 55. Análisis HEMP.

Amenaza	Riesgo	Control	Evento no deseado	Medidas de recuperación	Consecuencias
El cloro es un agente oxidante y corrosivo para las barandas	Utilización de barandas en mal estado	Mantenimiento preventivo en las instalaciones	Que las barandas se oxiden y deterioren por su descuido	Colocación de nuevas barandas y mantenimiento de ellas	Esta falta de seguridad puede ocasionar que la persona caiga dentro del proceso. Incurrir en costos a la empresa.
El cloro es un agente oxidante y corrosivo para las bridas de retención de tuberías	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración	Mantenimiento preventivo en las instalaciones	Que las bridas de retención se fracturen y la tubería no tenga soporte alguno	Colocación de nuevas bridas de retención y el mantenimiento de ellas.	Incurrir en costos y las bridas al ser corroídas se quiebran por lo que la tubería no tiene soporte alguno en el techo de la sección de cloración
El cloro es un agente oxidante y corrosivo para las bridas de retención de tuberías	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración	Mantenimiento preventivo en las instalaciones	Fracturación o deterioro de tubería. Que algún operario esté presente en el momento del evento no deseado.	Compostura de las tuberías e instalaciones.	Las tuberías al corroerse pueden deteriorarse y fracturarse, provocando una fuga de líquido. Incurrir en costos de la empresa, tiempo perdido y producción.

Tabla No. 56. Análisis HEMP (segunda parte).

Amenaza	Riesgo	Control	Evento no deseado	Medidas de recuperación	Consecuencias
Grietas u hoyos en el suelo. Objetos que bloqueen el camino.	Caminar o correr en lugares agrietados, con objetos o en no buenas condiciones	Limpieza y colocación de objetos en sus áreas respectivas. Mantenimiento de los suelos.	Caida grave de alguna persona en la planta	Dependiendo del golpe, si es leve verificar soluciones rápidas. Si es grave acudir a un botiquín médico o llamar al médico.	Puede darse el caso de salir lastimado o herido a causa de una caída ocasionada por un hoyo u objeto mal ubicado
El mal uso o manejo de sustancias químicas sin tener el debido cuidado de su manipulación	El operario manipule o maneje el químico sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.	Capacitación al personal y proveerles del material necesario para su correcta manipulación, como indumentaria adecuada y mascarilla para protección. Ventilación necesaria para mantener una concentración en el aire por debajo de los 2 mg/m ³ .	Sufrir una intoxicación a causa de la inhalación, ingestión o contacto del químico	Instalación de duchas y lavo ojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos lavar con abundante agua durante 15 minutos asegurando la limpieza de los tejidos del ojo. Lavar la ropa contaminada. Contar con equipo auxiliar de oxígeno y llamar inmediatamente al médico o bomberos para auxiliar a la persona.	El personal involucrado sufra de irritación o quemaduras en la piel, ojos, tracto respiratorio y tracto gastrointestinal. Posibles demandas a la empresa.

3. Matriz de riesgos. Clasificación de los riesgos encontrados, según la matriz de riesgos.

Tabla No. 57. Matriz de riesgos.

Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Clasificación
Que el operario manipule o maneje el químico sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.	4	3	ALTO
Que se haga un mal uso de los tanques y se manipulen sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.	2	5	EXTREMO
Negligencia del personal, como distracciones, falta de atención al proceso, mala dosificación de químicos, etc.	3	3	ALTO
Negligencia del personal, como distracciones, curiosidad, olvido del encendido automático de la maquinaria	1	4	ALTO
Caminar o correr en lugares agrietados, con objetos o en no buenas condiciones	1	2	BAJO
Caminar en las secciones donde no hayan barandas de seguridad o tramos estrechos que carezcan de ellas	1	3	MODERADO
Negligencia del personal, distracciones, cansancio, olvido, zapatos no adecuados, gradas sin superficie de fricción.	2	2	BAJO
Utilización de barandas en mal estado, en la sección de cloración	2	4	ALTO
Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración	3	5	EXTREMO

4. Análisis de las 4T

Tabla No. 58. Análisis de las 4T.

PELIGRO	RIESGO	TOMAR EL RIESGO (TAKE)	TRATAR EL RIESGO (TREAT)	TRANSFERIR EL RIESGO (TRANSFER)	TERMINAR EL RIESGO (TERMINATE)	RANGO
Sustancias químicas dañinas como el Sulfato de Aluminio	Que el operario manipule o maneje el químico sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.	El riesgo se toma dado que se debe introducir sulfato de aluminio en las tolvas y no hay otra forma de suministrarlo y limpiarlo del suelo.	Utilizando la indumentaria adecuada, mascarilla que cubra ojos y boca, ambiente seco y no húmedo. A la hora de limpiar no levantar en el aire el sulfato. Lavar la ropa contaminada.	Automatizar la dosificación de aluminio hacia las tolvas. Utilizar algún tipo de aspirador industrial para la limpieza del químico en el suelo. Subcontratar a alguna empresa que se dedique al lavado del químico en las instalaciones.	Parar la dosificación y limpieza del sulfato de aluminio si no se realiza con las medidas necesarias.	ALTO
Tanques de gas cloro y la conservación de tanques viejos que muestren signos de corrosión y su posible liberación	Que se haga un mal uso de los tanques y se manipulen sin las medidas necesarias, como indumentaria adecuada y mascarilla.	El riesgo se toma dado que deben suministrar cloro al proceso para que funcione correctamente.	Utilización de indumentaria adecuada así como las medidas de seguridad requeridas para la manipulación de los cilindros.	Este riesgo no puede ser transferido	Parar la dosificación de gas cloro si no se realiza con las medidas necesarias.	EXTREMO
Que se violen las reglas y procedimientos establecidos	Negligencia del personal, como distracciones, falta de atención al proceso, mala dosificación de químicos, etc.	Este riesgo no puede ser tomado	Concentración en el trabajo, recesos controlados, rotación, supervisión y control.	El riesgo puede ser transferido a nuevos turnos de empleados.	No puede ser terminado, dado que siempre involucra operadores.	ALTO
Manipulación del mecanismo de administración de sulfato en las tolvas de sulfato de aluminio	Negligencia del personal, como distracciones, olvido del encendido automático de la maquinaria	Este riesgo debe ser tomado únicamente para la supervisión de la maquinaria	Desconectar la maquinaria de la fuente eléctrica. Sensor de seguridad para apagar la maquinaria. Cubrir la sección de rotación.	Este riesgo no puede ser transferido	El riesgo puede ser terminado al no manipular maquinaria, en caso contrario desconectarla de la fuente eléctrica	ALTO
Suelo no óptimo para caminar debido a daños u objetos dejados en el camino	Caminar o correr en lugares agrietados, con objetos o en no buenas condiciones	Debe ser tomado para poder transitar dentro de la planta de tratamiento	Quitar objetos que obstruyan el paso y arreglar suelos dañados	Subcontratar a una empresa para arreglar los suelos dañados	Limpieza del lugar de trabajo, colocar objetos en su lugar y darle mantenimiento a suelos dañados	BAJO

Tabla No. 59. Análisis de las 4T.

PELIGRO	RIESGO	TOMAR EL RIESGO (TAKE)	TRATAR EL RIESGO (TREAT)	TRANSFERIR EL RIESGO (TRANSFER)	TERMINAR EL RIESGO (TERMINATE)	RANGO
Falta de barandas de seguridad	Caminar en las secciones donde no hayan barandas de seguridad o tramos estrechos que carezcan de ellas	Se debe de tomar el riesgo cuando se desea supervisar ciertas partes del proceso	Poner barandas de seguridad en toda la orilla del proceso y en las secciones que no hay colocar cadenas entre barandas para cerrar el paso	Subcontratar a una empresa para poner barandas en las secciones donde hace falta y cerrar las pequeñas secciones donde hay aún paso	No transitar en las secciones donde no hayan barandas de seguridad	MODERADO
Gradas no visibles o posible resbalo	Negligencia del personal, distracciones, cansancio, olvido, zapatos no adecuados, gradas sin superficie de fricción.	Cuando se desea transitar en el proceso	Evitar distracciones y en las gradas donde haya conflicto de resbalo poner cinta antideslizante	Siempre pueden haber distracciones, se puede subcontratar para colocar cinta antideslizante	El riesgo no puede ser terminado dado que siempre persiste	BAJO
Corrosión de barandas en la sección de cloración	Utilización de barandas en mal estado, en la sección de cloración	Se toma el riesgo si no se desea dar mantenimiento preventivo y reducir costos por un tiempo	Es necesario realizar un mantenimiento preventivo y realizar supervisiones periódicas	Subcontratar a otra empresa para realizar el mantenimiento preventivo	Utilizar barandas de otro material que no se corroa con el cloro.	ALTO
Corrosión de bridas de retención de tubería	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración	Se toma el riesgo cuando se realiza un recorrido por la sección de cloración	Es necesario realizar un mantenimiento preventivo y realizar supervisiones periódicas	Subcontratar a otra empresa para realizar el mantenimiento preventivo	El riesgo puede ser terminado al tener un mantenimiento preventivo y control de ello	ALTO
Tubería corroída	Transitar debajo de las tuberías que se encuentran en el cuarto de cloración	Se toma el riesgo cuando se realiza un recorrido por la sección de cloración	Es necesario realizar un mantenimiento preventivo y realizar supervisiones periódicas. Recubrimiento de pintura especializada para la corrosión.	Subcontratar a otra empresa para realizar el mantenimiento preventivo	El riesgo puede ser terminado al tener un mantenimiento preventivo y control de ello	EXTREMO

J. Mejora continua.

Con respecto al estudio realizado de mejora continua puede ser visto en el anexo de "Mejora continua", en el cual se muestra la propuesta detallada. A continuación los resultados obtenidos de la propuesta realizada:

Tabla No. 60. Clasificación y descarte.

CLASIFICACIÓN	1	2	3	4	5	DESCARTE	CONSERVADO
Troncos de madera	X	X	X			X	
Mangueras de agua		X	X		X		X
Palas		X					X
Pallets viejos o dañados			X		X	X	
Sacos de arena volcánica			X			X	
Tubos PVC			X			X	
Chatarra (Metal)			X		X	X	
Restos de lámparas			X			X	
Sacos de Sulfato de Aluminio				X	X		X
Tanques de Gas Cloro Grandes					X		X
Tanques de Gas Cloro Pequeños					X		X
Mangueras para gas cloro					X		X
Toneles					X	X	
Carretas					X		X
Recipiente de Galón					X	X	
Máquina lustradora de suelo					X	X	
Toneles de metal					X	X	
Varillas de metal					X	X	
Escaleras de metal					X		X
Tablas de madera					X	X	
Escritorios de metal					X	X	
Tableros de dibujo					X	X	
Catres de metal					X	X	
Montacargas manuales					X		X
Alambre espigado					X		X
Armario de metal					X	X	
Focos de alumbrado público					X	X	
Sillas					X	X	
Bancos					X	X	
Aros de carro					X	X	
Bicicleta					X	X	

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 61. Secciones evaluadas.

Sección	Número
Floculación	1
Sedimentación	2
Filtros	3
Cloración	4
Edificio de operaciones	5

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 62 Artículos conservados y su ubicación.

CONSERVADO	UBICACIÓN	
Mangueras de agua	AZUL	
Palas	MORADO	
Sacos de Sulfato de Aluminio	CELESTE	
Tanques de Gas Cloro Grandes	AMARILLO (VACIO)	ROJO (LLENO)
Tanques de Gas Cloro Pequeños	AMARILLO (VACIO)	ROJO (LLENO)
Mangueras para gas cloro	AZUL	
Carretías	VERDE	
Escaleras de metal	GRIS	
Montacargas manuales	VERDE	
Alambre espigado	Debe colocarse en los bordes de la planta	

Tabla No. 63 Artículos descartados.

DESCARTADO		
Troncos de madera	Varillas de metal	Escritorios de metal
Pallets viejos o dañados	Tablas de madera	Armario de metal
Sacos de arena volcánica	Tableros de dibujo	Sillas
Chatarra (Metal)	Catres de metal	
Restos de lámparas	Focos de alumbrado público	
Toneles	Bancos	
Recipiente de Galón	Aros de carro	
Máquina lustradora de suelo	Bicicleta	
Toneles de metal	Tubos PVC	

Figura No. 41 Ubicación de artículos y objetos.

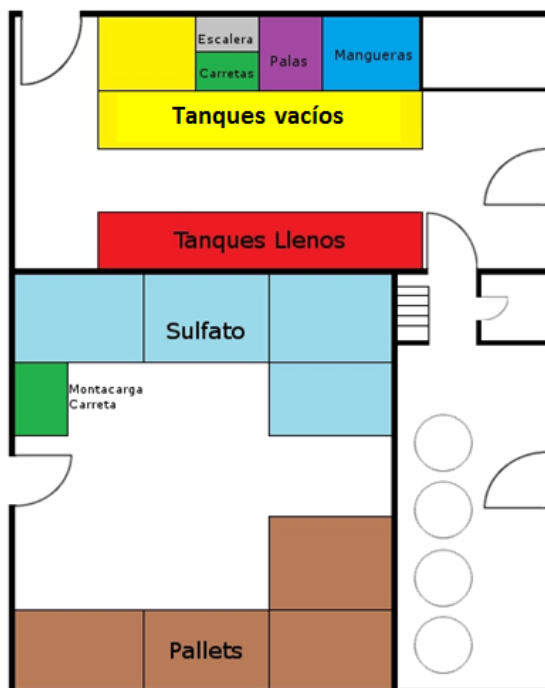
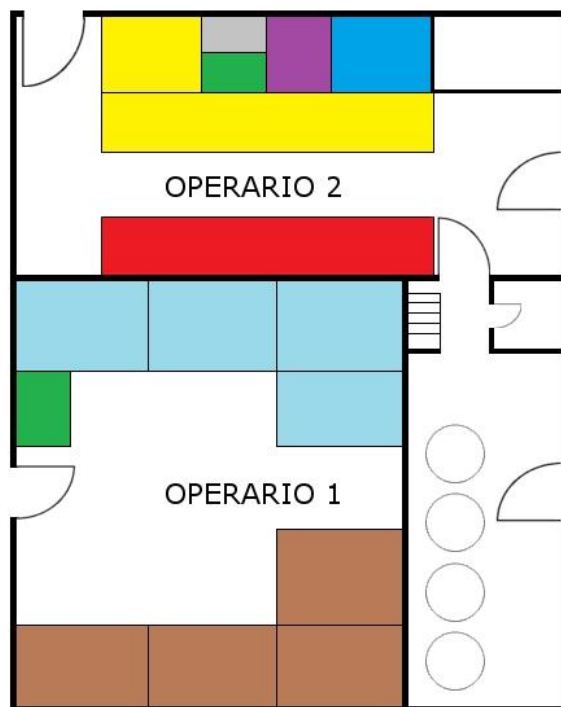


Figura No. 42 Asignación de limpieza en el edificio de operaciones.



K. Estudio de Tiempos

Tabla No. 64 Estudio de tiempos, residencia del agua en verano.

Número de observación:	Primer tramo [min]	Segundo tramo [min]	TOTAL
1	10.12	11.07	21.19
2	9.15	10.07	19.22
3	11.45	11.14	22.59
4	11.30	11.08	22.38
5	10.53	10.26	20.79
6	9.25	10.25	19.50
7	11.52	11.24	22.76
8	9.55	11.26	20.81
9	9.93	11.42	21.35
10	10.75	11.24	21.99
PROMEDIO	10.36	10.90	21.26

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 65 Estudio de tiempos, residencia del agua en invierno.

Número de observación:	Primer tramo [min]	Segundo tramo [min]	TOTAL
1	9.17	7.38	16.55
2	11.12	5.27	16.39
3	8.54	7.91	16.45
4	8.19	11.99	20.18
5	9.51	10.56	20.07
6	7.56	9.88	17.44
7	9.07	9.23	18.3
8	7.27	8.21	15.48
9	8.12	7.14	15.26
10	7.4	8.95	16.35
PROMEDIO	8.60	8.65	17.25

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012.

Tabla No. 66 Estudio de tiempos primer tramo floculadores.

Número de Observación:	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad Promedio (m/s)	Velocidad Promedio (cm/s)	Caudal (m ³ /s)
1	12.72	3.54	0.28	27.83	0.24
2	9.04	3.54	0.39	39.16	0.33
3	10.36	3.54	0.34	34.17	0.29
4	8.31	3.54	0.43	42.60	0.36
5	9.53	3.54	0.37	37.15	0.32
6	9.79	3.54	0.36	36.16	0.31
7	8.80	3.54	0.40	40.23	0.34
8	9.23	3.54	0.38	38.35	0.33
9	9.62	3.54	0.37	36.80	0.31
10	9.26	3.54	0.38	38.23	0.33
11	7.30	3.54	0.48	48.49	0.41
12	10.13	3.54	0.35	34.95	0.30
13	11.99	3.54	0.30	29.52	0.25
14	9.38	3.54	0.38	37.74	0.32
15	10.56	3.54	0.34	33.52	0.29
16	9.22	3.54	0.38	38.39	0.33
17	8.44	3.54	0.42	41.94	0.36
18	6.45	3.54	0.55	54.88	0.47
19	6.78	3.54	0.52	52.21	0.44
20	9.76	3.54	0.36	36.27	0.31
21	10.38	3.54	0.34	34.10	0.29
22	6.79	3.54	0.52	52.14	0.44
23	7.85	3.54	0.45	45.10	0.38
24	8.78	3.54	0.40	40.32	0.34
25	6.77	3.54	0.52	52.29	0.44
26	8.30	3.54	0.43	42.65	0.36
27	10.06	3.54	0.35	35.19	0.30
28	10.05	3.54	0.35	35.22	0.30
29	12.14	3.54	0.29	29.16	0.25
30	10.45	3.54	0.34	33.88	0.29
31	7.30	3.54	0.48	48.49	0.41
32	10.21	3.54	0.35	34.67	0.30
33	12.57	3.54	0.28	28.16	0.24
PROMEDIO	9.34	3.54	0.39	39.09	0.33

Caudal en m³/s **0.33**
 Caudal en Litros por
 segundo 332.66

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 67 Estudio de tiempos, segundo tramo en floculadores.

Número de observación:	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m ³ /s]
1	42.16	3.54	0.08	8.40	0.19
2	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
3	40.16	3.54	0.09	8.81	0.20
4	50.12	3.54	0.07	7.06	0.16
5	27.13	3.54	0.13	13.05	0.30
6	45.52	3.54	0.08	7.78	0.18
7	36.87	3.54	0.10	9.60	0.22
8	49.18	3.54	0.07	7.20	0.16
9	25.26	3.54	0.14	14.01	0.32
10	41.23	3.54	0.09	8.59	0.20
11	48.35	3.54	0.07	7.32	0.17
12	41.12	3.54	0.09	8.61	0.20
13	51.15	3.54	0.07	6.92	0.16
14	44.21	3.54	0.08	8.01	0.18
15	40.23	3.54	0.09	8.80	0.20
16	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
17	44.26	3.54	0.08	8.00	0.18
18	35.47	3.54	0.10	9.98	0.23
19	44.28	3.54	0.08	7.99	0.18
20	42.13	3.54	0.08	8.40	0.19
21	38.52	3.54	0.09	9.19	0.21
22	41.36	3.54	0.09	8.56	0.19
23	29.1	3.54	0.12	12.16	0.28
24	43.17	3.54	0.08	8.20	0.19
25	40.13	3.54	0.09	8.82	0.20
26	41.2	3.54	0.09	8.59	0.20
27	41.05	3.54	0.09	8.62	0.20
28	35.44	3.54	0.10	9.99	0.23
29	42.24	3.54	0.08	8.38	0.19
30	52.15	3.54	0.07	6.79	0.15
31	37.52	3.54	0.09	9.43	0.21
32	48.31	3.54	0.07	7.33	0.17
33	36.15	3.54	0.10	9.79	0.22
PROMEDIO	40.95	3.54	0.09	8.88	0.20

Caudal [m³/s]

0.20

Caudal [L/s]

202.02

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012.

Tabla No. 68. Caudal de salida en floculadores.

Altura del agua [m]	1.85
Ancho [m]	1.23
Área transversal [m²]	2.28
Distancias medidas	
Sección 1	1.77
Sección 2	1.77
Distancia total [m]	3.54
Caudal total [L/s]	534.67
Caudal total [m³/s]	0.53

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Figura No. 43. Radio recomendado para las esquinas.

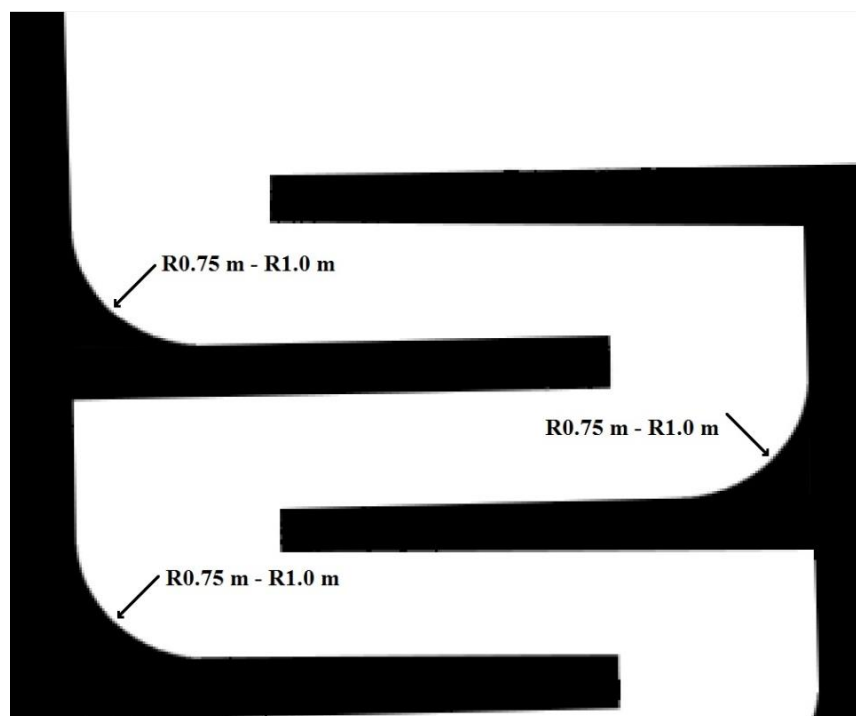
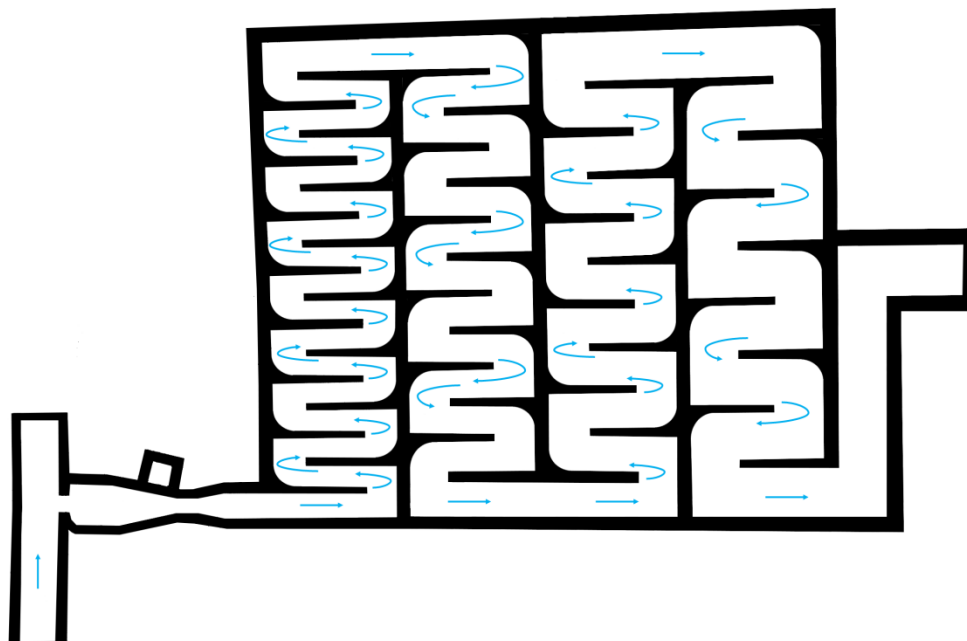


Figura No. 44. Propuesta de reingeniería en floculadores.



L. Análisis económico del proyecto.

Tabla No. 69 Costo promedio anual de sueldos de limpieza de tanques.

	Mensual	3 Empleados	Anual
Sueldo en horas de limpieza al mes (invierno)	Q1,032.41	Q3,097.24	Q18,583.44
Sueldo en horas de limpieza al mes (verano)	Q714.75	Q2,144.24	Q12,865.46
Total	Q1,747.16	Q5,241.48	Q31,448.90

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 70. Costo anual de agua utilizada.

Época	Costo total
Verano	Q84,116.96
Invierno	Q121,502.27
Anual	Q205,619.23

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 71. Costo de vaciado anual.

Época	Costo total
Verano	Q325,019.45
Invierno	Q69,472.54
Anual	Q794,491.99

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Costo total del lavado anual

$$= \text{Costo Anual de Sueldos en limpieza} + \text{Costo anual de agua utilizada} \\ + \text{Costo de vaciado de tanques}$$

Tabla No. 72. Total de costos anuales y mensuales de limpieza de tanques de sedimentación.

TOTAL ANUAL	TOTAL MENSUAL
Q1,083,905.71	Q90,325.48

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 74 Costo de almacenar inventario.

Costos variables		
Costo de almacenar inventario		
Bodega de 750 metros cuadrados por 10 metros de alto		
Costo por metro cuadrado	Q	250.00
Costo total por bodega llena de almacenamiento	Q	187,500.00
Utilización de la bodega en 50% para libertad de movimiento	3750 metros cúbicos	
Cantidad de Sacos que se pueden almacenar en el 50% de capacidad	71,225	
Costo de almacenamiento por saco	Q	2.63

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 75. Ingresos por agua recuperada.

Meses	Lavado	Dinero recuperado
Enero	5	Q37,396.58
Febrero	5	Q37,396.58
Marzo	7	Q52,355.22
Abril	7	Q52,355.22
Mayo	9	Q67,313.85
Junio	8	Q59,834.53
Julio	10	Q74,793.17
Agosto	8	Q59,834.53
Septiembre	9	Q67,313.85
Octubre	9	Q67,313.85
Noviembre	6	Q44,875.90
Diciembre	5	Q37,396.58
Total	88	Q658,179.86

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 76. Datos requeridos para el flujo de efectivo.

Inflación	5.50%
Precio de venta	Q 15.00
Población	2.43%
Producción de maíz	52%
Costo de producción	Q3.49
Número de empleados	10
Costo de mercadeo sobre ventas primeros 3 años	30%
Costo de mercadeo sobre ventas años: 4, 5, 6 y 7	20%
Costo de mercadeo sobre ventas años: 8, 9 y 10	10%
Costo de distribución sobre ventas primeros 3 años	10%
Costo de distribución sobre ventas años 4, 5, 6 y 7	20%
Costo de distribución sobre ventas años 8, 9 y 10	30%
Sueldo	Q4,748.66
Costo de almacenar inventario	Q2.63

Fuente: Elaboración propia del auto

Tabla No. 77. Ingresos y egresos de cal y lodo.

Año	Cantidad de sacos demandados	Total [kg]	Fracción de cal [kg]	Fracción de lodo [kg]	Lodo no utilizado [kg]	Cal no utilizada [lbs]	Costo de lodo no utilizado	Recuperado de lodo tratado	Ahorro en cal	Costo de cal utilizada	Restante de lodo no tratado [lb]	Costo no tratado de lodo
1	203,291	9,221,135.96	86,453.88	9,134,682.08	18,230,061.07	411,713.52	Q 38,069.16	Q 19,075.62	Q 403,410.20	Q 84,710.31	76,205,919.59	Q 159,138.01
2	360,255	16,340,894.91	153,206.05	16,187,688.86	11,177,054.29	344,961.35	Q 23,340.63	Q 33,804.15	Q 338,004.27	Q 150,116.24	76,205,919.59	Q 159,138.01
3	469,038	21,275,200.87	199,468.24	21,075,732.63	6,289,010.51	298,699.17	Q 13,133.11	Q 44,011.67	Q 292,675.08	Q 195,445.42	76,205,919.59	Q 159,138.01
4	527,739	23,937,815.90	224,431.91	23,713,383.99	3,651,359.16	273,735.49	Q 7,625.00	Q 49,519.78	Q 268,214.87	Q 219,905.63	76,205,919.59	Q 159,138.01
5	545,095	24,725,100.03	231,813.19	24,493,286.84	2,871,456.31	266,354.22	Q 5,996.36	Q 51,148.43	Q 260,982.46	Q 227,138.05	76,205,919.59	Q 159,138.01
6	557,395	25,282,992.34	237,043.78	25,045,948.56	2,318,794.59	261,123.63	Q 4,842.25	Q 52,302.53	Q 255,857.36	Q 232,263.14	76,205,919.59	Q 159,138.01
7	567,178	25,726,752.05	241,204.30	25,485,547.75	1,879,195.39	256,963.11	Q 3,924.25	Q 53,220.53	Q 251,780.74	Q 236,339.76	76,205,919.59	Q 159,138.01
8	577,119	26,177,689.57	245,432.12	25,932,257.45	1,432,485.70	252,735.29	Q 2,991.41	Q 54,153.38	Q 247,638.19	Q 240,482.31	76,205,919.59	Q 159,138.01
9	584,412	26,508,470.85	248,533.40	26,259,937.45	1,104,805.69	249,634.01	Q 2,307.12	Q 54,837.66	Q 244,599.46	Q 243,521.05	76,205,919.59	Q 159,138.01
10	591,796	26,843,431.89	251,673.87	26,591,758.02	772,985.12	246,493.54	Q 1,614.20	Q 55,530.59	Q 241,522.32	Q 246,598.18	76,205,919.59	Q 159,138.01

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 78. Inversión inicial y depreciación.

Inversión inicial		Q4,099,024.66
Capacitación de personal		Q 15,000.00
Bodega de producto final		Q 268,666.67
Inversión que tiene IVA	Q4,098,042.77	
IVA de la inversión	Q 524,005.13	
Valor de equipo para aplicar depreciación	Q 556,627.37	
Valor del equipo sin IVA	Q 496,988.72	
Depreciación (20%)	Q 99,397.74	

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

N. Análisis de sensibilidad

Tabla No. 79 Análisis de sensibilidad.

INFLACIÓN VS TIR			
PORCENTAJE		INFLACIÓN	TIR
75%	REDUZCO - 25%	4.1250%	19.59%
100%	ACTUAL	5.50%	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	6.87500%	24.29%

PRECIO DE VENTA VS TIR			
PORCENTAJE		PRECIO DE VENTA	TIR
75%	REDUZCO - 25%	Q12.00	9.58%
100%	ACTUAL	Q16.00	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	Q20.00	32.44%

EMPLEADOS VS TIR			
PORCENTAJE		EMPLEADOS	TIR
75%	REDUZCO - 25%	7.5	22.13%
100%	ACTUAL	10	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	12.5	21.84%

COSTO DE DISTRIBUCIÓN VS TIR			
PORCENTAJE		COSTO DE DISTRIBUCIÓN	TIR
75%	REDUZCO - 25%	22.50%	23.57%
100%	ACTUAL	30%	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	37.50%	20.18%

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Con respecto al análisis de sensibilidad se puede apreciar que las variables más sensibles al cambio son la inflación y los costos de distribución. En este caso, la variable que se puede controlar es el de los costos de distribución por lo que sería ideal al implementar la propuesta comprar vehículos para el transporte del producto.

Tabla No. 80. Tiempo de recuperación.

Año	Flujo de efectivo neto	FE Acumulado	Recuperado
0	Q (4,380,109.45)		
1	Q 193,831.75	Q 193,831.75	Q (4,186,277.70)
2	Q 378,502.85	Q 572,334.60	Q (3,807,774.85)
3	Q 618,502.34	Q 1,190,836.93	Q (3,189,272.51)
4	Q 924,373.53	Q 2,115,210.46	Q (2,264,898.99)
5	Q 1,140,477.39	Q 3,255,687.85	Q (1,124,421.60)
6	Q 2,242,002.52	Q 5,497,690.37	Q 1,117,580.93
7	Q 2,468,360.99	Q 7,966,051.36	Q 3,585,941.92
8	Q 2,712,734.84	Q 10,678,786.20	Q 6,298,676.76
9	Q 2,963,520.52	Q 13,642,306.72	Q 9,262,197.28
10	Q 3,232,504.26	Q 16,874,810.98	Q 12,494,701.53

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Tabla No. 81. Escenario de jardinización.

Actualmente parques y áreas verdes utiliza para jardinización	
Gasto anual en fertilizantes	Q52,561.00
Cantidad de libras de fertilizante	10,500.00
Cantidad en kilogramos	4,762.72
Escenario alternativo	
Utilización del 10% de lodo y 90% de Fertilizante	
Beneficio anual para parques y áreas verdes	Q 5,256.10
Fertilizante no utilizado en kilogramos (10% que será usado en lodos tratados)	476.27
Cantidad de lodos tratados como complemento del 10% en kg	476.27
Costo por producir 45.36 kg de lodo tratado	Q 3.50
Costo por producir 1 kg de lodo tratado	Q 0.08
Costo anual en el 10% de lodos utilizados como complemento	Q 36.70

Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

IX. PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS RESIDUALES

El diagrama de flujo de la planta de tratamiento se muestra en el Diagrama No. 3. Ésta se debe manejar de una forma controlada ya que siempre varían los flujos de agua utilizados en el lavado y puede ser que se llegue a superar la capacidad de la planta. El primer proceso que se aconseja es la estandarización de lavados con la cantidad de agua mínima que se pueda utilizar, reduciendo los tiempos de lavado.

Como es necesario en todas las plantas, debe existir una forma en la cual se debe operar. La propuesta de operación se muestra a continuación

1. Evaluar que todos los equipos funcionen y se encuentren de forma limpia.
2. Coordinar con el operador de la planta de tratamiento de aguas la hora en la cual comenzarán a vaciar el tanque de sedimentación.
3. Encender banda transportadora. Esto es muy importante, ya que los equipos siempre deben ser encendidos antes de que se ingrese la carga. De no ser así, no podrá iniciar y el esfuerzo podría dañar los equipos.
4. Encender el tornillo sinfín. También es muy importante, por la misma razón mencionada anteriormente.
5. Permitir el ingreso de agua y lodo. Tomar en consideración que en esta etapa el agua se filtrará en los filtros directamente y será poca la cantidad de lodos que se recibirán, por lo que no debería existir acumulación. Si en dado caso existiera acumulación, interrumpir inmediatamente el flujo de entrada.
6. Activar la dosificación de cal en los momentos en que se presente salida de lodo de la banda.
7. Al terminar el tiempo de drenaje y corroborar que todo el material haya salido de la banda, apagarla.
8. Coordinar con los operadores el momento en el cual se comenzará el lavado del tanque.
9. Repetir pasos 3-7. En el caso de la dosificación de cal, ésta siempre estará funcionando ya que siempre se contará con salida de lodos. Siempre se debe controlar que el flujo no supere los 56 litros por segundo. Debido a las diferencias en las formas de lavado y aplicación de agua, el operador encargado debe estar muy pendiente de este valor y controlar que se dé la regulación del flujo a la entrada del filtro.

10. Al momento de que ingrese lodo al patio de secado, los operadores designados deben encargarse de distribuirlo en todo el patio con el equipo adecuado. Se debe controlar que las capas de lodo sean de aproximadamente 15 centímetros.
11. Permitir que los lodos se sequen durante el resto del día de lavado y 3 días más o hasta que la humedad sea de aproximadamente el 20 por ciento.
12. Luego de obtener la humedad deseada, los operadores deben apilar y juntar el lodo en la sección de almacenaje cerca del lugar en donde será transportada o colocada en su disposición final.
13. Limpiar el área para recibir el lodo del otro proceso.

Los días en los que se permitirá el secado del lodo, se aprovechará para realizar el mantenimiento y limpieza necesarios a los equipos de la planta. Se preparará el sistema para la próxima limpieza de los tanques. Esto permitirá que se siga realizando el proceso de buena forma y que los factores de fricción debido a suciedad no aumenten, pudiendo afectar en la potencia y eficiencia del proceso.

X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La planta de tratamiento de agua “Lo de Coy” de EMPAGUA cuenta con cuatro tanques de sedimentación de un volumen de $3,787.43 \text{ m}^3$ cada uno. Durante el proceso de sedimentación se acumulan lodos residuales en la parte inferior del tanque y agua clarificada en la parte superior. El volumen total de lodos suspendidos en agua llega a ser de $1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3$, y el volumen de agua clarificada es de $1,868.06 \pm 1.681 \text{ m}^3$. El volumen exacto de los lodos dentro del tanque no se puede conocer dado que a pesar de que los lodos están sedimentados en la parte inferior del tanque aún siguen suspendidos en el agua, esto se debe a que los lodos no están compactados. Los lodos se acumulan de forma dispareja dentro del tanque, tal como se puede observar en la Tabla No. 95 (pág. 242) que ilustra la dispersión de lodos dentro del tanque. Durante pruebas realizadas, en las que se tenía un recipiente cuadrado con lodos y agua, tomados de la planta “Lo de Coy” se observó que al drenar su contenido a otro recipiente el agua fluía mientras que los lodos permanecían en la parte inferior del mismo. La cantidad de lodos que fluyeron con el agua fue mínima comparada con la cantidad de lodos que permanecía acumulada en el recipiente, por lo que se consideró despreciable para fines de cálculo.

Los tanques se deben lavar cada cierto tiempo para asegurar la eficiencia del proceso. Los tanques se vacían cuando se observa que los lodos alcanzan una altura aproximada de dos metros en el punto de acumulación más alto. Durante la época de invierno (mayo a octubre) debido a que el cauce del río que alimenta la planta tiene mayor turbidez se deben lavar los tanques cada dos semanas, y durante la época de verano (noviembre a abril) se lavan cada tres semanas. El proceso de lavado consta de dos partes: el drenaje inicial del tanque y el lavado de lodos acumulados.

Durante el drenaje inicial del tanque se abren las seis válvulas de drenaje que tiene el tanque y se libera el contenido del tanque al río Villalobos. Este proceso tiene una duración aproximada de dos horas. Durante esta etapa del lavado se liberan al río los $1,868 \pm 1.681 \text{ m}^3$ de agua clarificada, y aproximadamente $656.90 \pm 1.484 \text{ m}^3$ de lodos residuales suspendidos en agua, un total de $2,524.95 \pm 2.067 \text{ m}^3$ de lodos y agua por cada tanque que se lava en la época de invierno que es cuando el agua que se trata ingresa a la planta con niveles de turbidez más altos. El contenido de lodos que se desecha en este punto del proceso de lavado no se puede conocer por los motivos explicados anteriormente, de que a pesar que los lodos están sedimentados no están completamente compactados lo que no permite la determinación de su volumen.

Al terminar el proceso de drenado del tanque, se observó que quedan lodos acumulados dentro del tanque. Esto se debe a que durante el proceso de drenaje se forman agujeros de ratón en los lodos, que permiten el drenaje de agua y de cierta cantidad de lodos. Los lodos que son removidos durante el proceso de drenado del tanque son los lodos menos compactados dentro del tanque. Sin embargo, por las razones expuestas previamente, no se puede determinar con exactitud el volumen de lodos evacuados del tanque de sedimentación durante el período de drenaje. Al finalizar el drenaje de cada tanque, los lodos remanentes en el tanque de sedimentación tienen un volumen aproximado de $420.83 \pm 0.100 \text{ m}^3$. Esta cantidad de lodos fue la utilizada como base para el dimensionamiento del equipo para el tratamiento de los manejos sólidos propuesto por el presente Megaproyecto.

La remoción de los lodos remanentes se hace lavando el tanque con agua, el proceso de lavado de tanque tiene una duración promedio de 5 horas. Durante el proceso de lavado de un tanque de sedimentación se utiliza un promedio de $510.54 \pm 58.326 \text{ m}^3$ de agua, durante la época de invierno. Anualmente se utilizan $44,927.143 \pm 672.066 \text{ m}^3$ de agua para lavado de tanques de sedimentación. Se utiliza agua clarificada de los tanques vecinos y agua proveniente del suministro municipal de agua, es decir, agua completamente tratada. En la Tabla No. 93 (pag. 241) del presente reporte se puede observar el volumen de agua que se utiliza de cada mecanismo de lavado utilizado.

Cada tanque se lava aproximadamente 22 veces en un año, lo que equivale a 88 lavadas en total. Por lo que anualmente se desechan aproximadamente $94,839.36 \pm 107.062 \text{ m}^3$ de lodos al año, $164,389.84 \pm 114.083 \text{ m}^3$ de agua clarificada, y se gastan, en promedio, $44,927.143 \pm 672.066 \text{ m}^3$ de agua para lavar el tanque. Estos volúmenes tienen un impacto negativo en el ecosistema del río Villalobos, y posteriormente en el lago de Amatitlán donde el río desemboca.

Los lodos residuales están compuestos por una diversidad de compuestos químicos y compuestos orgánicos. El dióxido de silicio es el componente principal de los lodos, compone un 50.56% (m/m); el óxido de aluminio es el segundo componente de mayor porcentaje, con un 19.39% (m/m) de los lodos; y los compuestos orgánicos componen otro 18.65% (m/m) de la composición de los lodos. Estos compuestos junto con otros de menor porcentaje son desechados al río. En la Tabla No.32 (pág. 125) del presente reporte se puede observar el volumen de cada compuesto químico que es desechado en la lavada de un tanque de sedimentación.

El dióxido de silicio es un material que ocurre naturalmente, sin embargo en el lavado de cada tanque se desechan aproximadamente $383.90 \pm 0.4588 \text{ m}^3$ de este compuesto al río. Lo

que equivale a $33,695.143 \pm 0.4588 \text{ m}^3$ de SiO_2 desechados anualmente. Los volúmenes tan grandes de este compuesto depositados directamente en el río pueden afectar la remoción natural del compuesto y causar la acumulación del mismo en el río, aumentar la cantidad de partículas suspendidas en el agua, y afectar el cauce del río. El dióxido de silicio es un compuesto insoluble en agua, lo que también contribuye a su acumulación en diversos puntos del cauce del río.

El segundo compuesto de mayor concentración es el óxido de aluminio y, esto se debe a que el sulfato de aluminio es utilizado como floculante. El volumen de óxido de aluminio desechado por cada lavada de un tanque es de $82.11 \pm 0.1013 \text{ m}^3$, lo que anualmente son $7,226.043 \pm 28.015 \text{ m}^3$ desechados. El aluminio puede tener efectos adversos en el río. Puede darse la acumulación de lodos en diferentes puntos del río, lo que afecta el cauce natural del mismo. Se pueden dar también problemas con la turbidez del agua y la dilución de los lodos. El aluminio es tóxico para los peces. El contenido total de aluminio no se puede cuantificar completamente ya que se tiene cierto porcentaje de sulfato de aluminio en el agua clarificada desechada durante el drenaje de los tanques y en el agua utilizada para el lavado de los tanques, por lo que el contenido de este compuesto debe ser mayor al especificado anteriormente. La concentración inicial de sulfato de aluminio que se adiciona al agua sí se conoce ya que se agrega en función de la turbidez del agua que entra a la planta. Sin embargo, la concentración de sulfato de aluminio remanente en el agua clarificada no se puede conocer ya que cambia durante el proceso de sedimentación, no se sabe cuánto sulfato de aluminio se floclula con las impurezas y cuanto permanece en el agua.

En menor porcentaje se puede encontrar otra serie de compuestos, entre los cuales se pueden mencionar el óxido férrico, el óxido de calcio, óxido de potasio, y el óxido de sodio. Estos compuestos proveen nutrientes esenciales para los ecosistemas acuáticos. Empero, pueden tener efectos adversos al encontrarse en niveles altos dentro de los cuerpos de agua. El exceso de nutrientes fomenta el crecimiento de algas verdes y cianobacteria. El crecimiento desmesurado de estos organismos, puede llegar a ser tan alto que la masa de alga y bacteria sea tan densa que no pueda penetrar la luz solar en el agua. Estas condiciones llevan a la eutrofización de los lagos, se reducen grandemente los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que lleva a la reducción en poblaciones de peces y otros animales acuáticos. Al desembocar el río en el lago de Amatitlán todos los compuestos químicos presentes en los lodos contribuyen a la eutrofización del lago.

A fin de identificar el método ideal de manejo de los sólidos residuales se consideraron diversas opciones. Durante las primeras dos fases de este megaproyecto se han descartado

varias opciones de tratamiento y utilización de los lodos., las cuales se pueden mencionar, el compostaje debido a su bajo contenido orgánico del lodo. Esto se debió al primer al análisis de composición orgánica que se realizó. La incineración debido al alto costo de un incinerador y altos porcentajes de energía, relleno sanitario ya que el costo de transporte hacia el relleno sanitario de AMSA es altamente costoso y como combustible, ya que la capacidad calorífica de los lodos secos es de 945.73 kJ/kg (226.0352 cal/g). Lamentablemente la capacidad calórica del lodo es muy baja al ser comparada con otros combustibles agrícolas (Ver la Tabla No. 25 y la Tabla No. 26). Luego de unas semanas se finalizó la elaboración del ladrillo y se determinó que el lodo no puede ser utilizado como materia prima debido a que no contiene la cantidad necesaria de óxidos de hierro para el color rojizo y óxidos de calcio para la resistencia del mismo. Se determinó que el lodo proveniente de EMPAGUA puede ser clasificado como una arcilla refractaria al comparar la teoría (Ver Capítulo II, T, 6, c) y los resultados del análisis de composición química, por sus altos porcentajes de óxidos de silicio y óxidos de aluminio.

El fin de conocer la composición orgánica de los lodos fue básicamente para la aplicación a suelos con el fin de que la Municipalidad de Guatemala lo utilizara como abono en la jardinería de los parques de la Ciudad de Guatemala o incluso como abono para pequeños agricultores en el cultivo o siembra de plantas ornamentales, plantas de milpa y de cilantro. Para esto se envió una muestra de lodos al laboratorio de microbiología para la determinación de su composición orgánica la cual fue de 3.75% en lodo húmedo y en lodo seco fue de 20% (determinada por el laboratorio "CETEC"), este mismo laboratorio proporcionó los datos de la humedad de lodo seco y húmedo las cuales se encontraban en un rango de 5% – 7% y 79% – 85% respectivamente y su porcentaje de cenizas de 28%. Luego de obtener estos valores se procedió a determinar la densidad y viscosidad del lodo como se puede observar en la Tabla No. 45. Para la determinación de la densidad del lodo se utilizó uno de los métodos más sencillos en el cual se toma en cuenta el peso de la sustancia a medir y el volumen que ocupa en un recipiente, en este caso una probeta, ya que es un instrumento volumétrico graduado, que permite medir volúmenes considerables con un ligero grado de inexactitud. Por lo tanto en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala se llevó a cabo el experimento, obteniendo una densidad de 1,115 kg/m³ a una humedad del 70%. Para la determinación de la viscosidad del lodo residual, se siguió el procedimiento normalizado por la ANSI/NCSL Z540-1 o MIL-STD-45662, en donde se utilizó la copa #5, este procedimiento se detalla en anexos, obteniendo así una viscosidad de los lodos residuales de 0.018 kg/ms a 25.3°C. Luego de obtener varios parámetros de los lodos gracias a los análisis, se realizó un experimento para determinar la consistencia del lodo con el fin de realizar pequeñas

estructuras como macetas, banquetas y cualquier tipo de estructura pequeña ya que según los análisis de compresión simple se ha logrado determinar que el lodo sin ningún tratamiento, más que un secado previo del mismo, ha demostrado ser un sólido de consistencia media (Ver Tabla No. 49). Por lo que este lodo podría ser utilizado en escuelas o en jardines municipales para la realización de macetas, bordes para jardines o entre otras cosas siempre y cuando este sea repellido con cemento para impedir la absorción de agua en el lodo directamente, ya que el porcentaje de absorción es muy alto (Ver Tabla No. 43).

Al observar los análisis de CETEC el lodo presentó un alto contenido orgánico, por lo que la opción de utilizar el lodo en la aplicación a suelos es muy atractiva, con el fin de contribuir al enriquecimiento de los suelos pobres de ciertos elementos. Por otra parte al obtener esta información se observó que la composición orgánica del lodo aumento significativamente con lo cual se restituyo la opción de utilizar el lodo para la aplicación a suelos, gracias a esto se procedió a realizar un secado del lodo y aplicarlo al suelo, hay que tomar en cuenta que se utilizó lodo peligroso, ya que este se secó a una temperatura de 60°C aproximadamente lo que nos ayuda a eliminar cierta cantidad de patógenos pero no metales pesados. Se tomó la iniciativa de realizar un huerto en donde se sembró cilantro y plantas de milpa, para observar su comportamiento al aplicar pequeños porcentajes de lodo en el suelo. En la siembra de cilantro se procedió a comprar semillas de cilantro, tres macetas y tierra ya abonada. Al obtener estos materiales se sembró tres diferentes muestras, la primer muestra era la de control en la cual solo se agregó tierra ya abonada y 18 semillas de cilantro, la segunda muestra fue una mezcla de lodo y tierra para esto se agregó 2,962.27 g. de tierra y 155.91 g. de lodo lo cual representa el 5% de la tierra agregada, con 18 semillas respectivamente y como última muestra se agregó 2,806.36 g. de tierra y 311.82 g de lodo lo cual representa el 10% de la tierra agregada, con 18 semillas (Tabla No. 99). Para este huerto se obtuvo un rendimiento excelente respecto a la biomasa producida para cada muestra, en donde se determinó que la muestra que contenía un 10% de lodo fue la que más biomasa produjo, con respecto a las otras, con un peso total de 26.10 g, por lo que al hablar de cilantro es posible adicionar este lodo luego de su tratamiento al suelo para acelerar el crecimiento de esta planta.

En lo que respecta con las plantas de milpa, ya que la prueba aún sigue en proceso se ha logrado determinar que el lodo en las muestras que se encuentran en la cajas plásticas han presentado un buen rendimiento ya que en la muestra que contiene un 5% de lodo se dio el crecimiento de las siete semillas sembradas y por lo mismo la altura de las mismas plantas es menor que la del control ya que se absorben más minerales. Por lo tanto en la siembra de una milpa en cada maceta se han dado rendimientos muy buenos para la maceta que contiene el

10% de lodo, ya que la que contiene el 5% de lodo ha presentado un rendimiento malo ya que la planta ha tenido mucha dificultad para su crecimiento. El control en este caso es la planta más alta al igual que en las cajas de plásticas, pero en este caso la maceta que contiene el 10% de lodo se encuentra únicamente a 2 cm atrás respecto al control,

Se examinaron las plantas para detectar deficiencias o la presencia de plagas. Se pudo observar que el grupo de control en las cajas plásticas fue dañado por alguna plaga, se observaron desfiguraciones en la planta causadas por algún insecto. En este grupo se pudo detectar también una deficiencia leve de fósforo, aparte de esto en ningún otro grupo se observó deficiencia de minerales.

Se determinó que este lodo tratado por medio de cal se puede clasificar como lodo clase B ya que este se mantuvo por más de dos horas a un pH mayor de 12 (Ver Gráfica No. 2), el cual puede ser aprovechado en los cultivos de frutos que crezcan en los tallos, es por ello que se realizó el experimento de la siembra de cilantro y plantas de milpa. Otro hecho importante es que este mismo lodo puede ser utilizado para el abono de plantas ornamentales y jardines en los parques de la Ciudad de Guatemala. La estabilización de lodos que es un proceso para eliminar patógenos, malos olores y mantener el pH del lodo en 12. Es por ello que se decidió estabilizar el lodo por medio de un pre-tratamiento de cal en el cual es necesario aplicar una cantidad mayor de cal por peso unitario de lodo tratado. Este excedente es necesario para mantener un pH alto. Así mismo es necesario suficiente tiempo de contacto para obtener un alto porcentaje de eliminación de patógenos, es importante señalar que la estabilización con cal no destruye la materia orgánica. El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en donde se extrajo tres muestras de lodo residual luego del tratamiento de aguas de EMPAGUA, fueron necesarios tres beaker de 100 mL en los cuales se pesó la cantidad de lodo agregado el cual se diluyó a 100 mL en un balón de aforo y la cantidad de cal agregada a esta muestra en el mismo beaker en solución (Tabla No. 100). Luego de determinar la concentración de cal a utilizar de 0.04186 g/mL, se procedió a preparar pipetas con volúmenes de 10 mL, 15 mL y 20 mL respectivamente, las cuales fueron agregadas a cada muestra, se agregó 10 mL de lechada de cal a la muestra 1 de lodo ya diluida, la pipeta de 15 mL a la muestra 2 de lodo ya diluida y la última pipeta de 20 mL a la muestra 3 de lodo ya diluida. Se midió el pH inicial de las muestras como se puede observar en la Tabla No. 100 (pág. 244). Luego de agregar la cal a las muestras se mezcló durante 15 segundos y luego de 5 minutos se midió el pH de cada muestra obteniendo los valores como se puede observar en la Tabla No. 101 (pág. 245), para esto se llevó un control diario el cual se estuvo midiendo el pH con el aparato Hach sensION 156 del kit de análisis de aguas HACH, para cada muestra. Este

resultado se puede observar en la Gráfica No. 2 (pág. 166), a medida que pasan los días el pH disminuye pero se logró el objetivo de mantener el pH por más de 2 horas.

La reducción inmediata de los insumos utilizados durante el proceso de lavado de tanques podría presentar una reducción significativa en el impacto ambiental negativo que se tiene y disminución de los costos de producción. No se puede controlar la cantidad de lodos producidos debido a que este factor va ligado directamente con los niveles de turbidez del agua proveniente de la subcuenca Xayá-Pixcayá. Tampoco se puede reducir de inmediato el volumen de agua clarificada que se consume, ya que para que el proceso de clarificación sea eficiente el volumen del tanque de sedimentación ya está establecido. Se podría mejorar el proceso de lavado de tanques para reducir el volumen de agua de lavado utilizada.

Se observó que durante el proceso de lavado la remoción de los lodos adheridos a las paredes del tanque es particularmente difícil, por lo que se deben usar las mangueras a presión por mayor cantidad de tiempo. Para reducir la cantidad de agua utilizada en este tiempo, se podría recubrir las paredes del tanque de sedimentación con un material impermeabilizante, tal como pintura epóxica. En el Apéndice II, Inciso H (pág. 321) se puede encontrar una estimación del costo de este proyecto utilizando pintura epóxica marca DuPont. Esta medida reduciría la cantidad de lodos adheridos a las paredes del tanque y permitiría que los lodos fluyan con mayor facilidad. El proceso de lavado inicia en los extremos del tanque ya que del lado del tanque donde están los difusores se puede hacer entrar agua proveniente de los floculadores para movilizar los lodos y del otro extremo del tanque se cuenta con una válvula conectada a los tanques vecinos que al abrirse el agua que entrega sirve también para la movilización de los lodos en ese extremo. En lo que se hace la limpieza de los extremos se podría tener un operador movilizandolos con una pala manual (como las que se encuentran en el Apéndice II, Anexo D del presente reporte). Esto permitiría reducir la cantidad de agua que se implementa en la limpieza del sector medio. Si se tiene un operario movilizandolos con una pala manual por cuatro horas, lograría remover aproximadamente 96 m³ de lodo, dejando 324.83 m³ a ser removidos por medio del lavado con agua. Esto representaría un ahorro de 116.47 m³ de agua de lavado por cada tanque y 10,249 m³ de agua de lavado ahorrada anualmente, lo que equivale a una reducción del 23% del agua de lavado utilizada. Los demás operarios encargados de la limpieza podrían continuar con sus labores sin problema. Al ser sólo por un tiempo que el operario tendría que estar dentro del tanque movilizandolos con pala, se evita que se canse mucho.

A pesar de que se pueden tomar medidas a corto plazo para reducir el impacto ambiental negativo, es necesario tomar ciertas medidas a largo plazo a fin de reducir los efectos

adversos. Luego de tener hecha la caracterización de los lodos, y haber detectado la forma de estabilizarlos se determinó que era necesario secar los lodos para su uso posterior en agricultura, y para reducir los costos de transporte del mismo. Los procesos de secado de lodos se caracterizan por la necesidad de grandes cantidades de energía para lograr la transferencia del agua hacia el aire. Debido a las grandes cantidades de sólidos residuales utilizados en cada lavado, estos requerimientos de energía se hacen mucho más grandes y las dimensiones de los equipos para procesarlos también lo hacen. Durante las diferentes fases del megaproyecto se evaluaron los diferentes sistemas y se eliminaron los que fueron muy costosos. Es importante mencionar que todos los resultados y dimensiones se aplicaron para el tratamiento de un tanque de sedimentación y la planta cuenta con cuatro.

Al utilizar el equipo para eliminar el agua en exceso, se observó que al permitir la salida del flujo de agua, ésta salió de una forma muy rápida y no se arrastró una cantidad de lodo significativa. La cantidad de lodo arrastrado fue aproximadamente lo que se encontró en la manguera de salida, como se puede observar en la Figura No.14. Con este proceso se logró conocer a pequeña escala qué puede suceder en los tanques de sedimentación que se formen “canales de ratón” ocasionando que casi todo el lodo se quede depositado en el tanque y por eso es necesaria la limpieza posterior. Conocer este fenómeno fue importante para conocer los flujos que ingresarían al sistema de eliminación de agua en exceso. Con esta observación se pudo determinar que al momento de drenar los tanques, no se arrastrarán muchos sólidos y por esta razón es que se utilizó el flujo de la parte de lavado de los tanques, 52.74 L/s. A pesar de la observación, no se conoce completamente este fenómeno, ya que no se puede observar la salida de agua de drenaje en la planta, ya que el drenaje se encuentra muy lejos de la planta de procesamiento.

El primer procedimiento para lograr un secado de sólidos es remover la mayor cantidad de agua en exceso posible. Este procedimiento se logra por medio de una separación mecánica. Debido a las altas cantidades de humedad y volúmenes manejados, se evaluó un proceso que no requiere mayor energía, aprovechando que los sólidos son, gracias al químico floculante, más fáciles de separar. Por medio de la evaluación del filtro con la manta, se logró conocer que la separación de este material sí logra retener la mayor cantidad de sólidos residuales. El material propuesto es acero inoxidable 304, ya que ofrecerá mayores resistencias mecánicas y a la corrosión y mayor durabilidad. La malla es marca TWP de malla 80, con una apertura de 0.18mm. El material es resistente a los químicos utilizados. La única precaución que se debería tomar al momento de lavados es utilizar agua que no tenga tanto contenido de cloro. No utilizar el agua del tanque de aguas claras. La ficha técnica se encuentra en el apéndice.

Luego de conocer la potencia teórica necesaria de 2.34kW para transportar el material se eligió la banda y se determinó la potencia real. El equipo para eliminar el agua en exceso que se implementaría con base en cálculos y disponibilidad de los proveedores, es una banda transportadora "Intralox flush grid serie 100". Ésta es de polipropileno resistente a la abrasividad y suciedad. Se eligió este material debido a las condiciones del proceso y los componentes de los sólidos residuales, tales como óxidos, materia orgánica y otros componentes. Ésta banda que ofrece el proveedor es la que posee las aperturas más pequeñas, pero siguen siendo muy grandes para los requerimientos del proceso. Por esta razón, se incorporará la malla a la banda instalada para lograr desarrollar el proceso. Como se puede observar en la ficha técnica de la malla, ésta es bastante flexible, pero es necesario comprobar que sí logre la flexibilidad para poder ser adaptada a la banda transportadora. Se estableció que la banda tendrá un ancho de 2.134m. Según los cálculos del proceso, el ancho se estableció de 2m, pero el proveedor ofrece una medida estándar de 2.134m. La longitud es de 8 m y una inclinación de 10 grados que representa un cambio de altura de 1.4 m e irá a una velocidad de 30 m/min. Con estas estimaciones la cantidad de material sobre la banda (incluyendo la malla) es de 60.31 kg/m². Por medio de la información de los pesos y resistencias de los materiales de la banda en el catálogo de productos, se logró determinar que la potencia necesaria para poder manejar el sistema es de 2.50 kW (3.35hp). La disponibilidad de motores no cuenta con esta potencia, por lo que se utilizaría un motor trifásico marca Leeson modelo AAF2BT61 de 5hp. Se utilizó la potencia en medidas inglesas, ya que así lo trabaja el proveedor. La ficha técnica se encuentra en el apéndice. Es importante mencionar que la banda se dimensionó para los valores estimados y no se realizó un sobre dimensionamiento. Las diferencias de lavados en los días y cantidades de lodos en los tanques siempre varían, por lo que los flujos pueden disminuir o aumentar en aproximadamente en 3.5kg/s. En caso de aumentar, la potencia necesaria únicamente consume el 74% de la capacidad del motor (incluyendo la eficiencia del mismo) por lo que si aumenta la carga, el motor todavía logrará movilizar la banda hasta llegar a un flujo de 58 L/s que es un 12% mayor que la utilización de la potencia disponible. De igual forma, podría afectar en la capacidad de la banda para soportar la masa aceptada por metro cuadrado, pudiendo dañar el equipo y aumentar el esfuerzo necesario para transportar el material.

En el Diagrama No.1 se representa la banda transportadora desde diferentes vistas con las dimensiones necesarias. La parte superior posee una pendiente para facilitar el drenaje de agua que se transportará hacia los tanques de recuperación. El Diagrama No. 2 muestra el diagrama de flujo para el filtro. Como se puede observar en el Diagrama No.1, éste está

sostenido por una estructura en la cual se permitirá recibir el flujo de agua filtrada. La estructura en la cual se montará no se logró diseñar por falta de conocimiento estructural. Lo que es necesario tomar en consideración en el diseño de esta estructura es que el filtro debe quedar móvil y los soportes laterales deben ser poseer una altura y sello que permita que los sólidos residuales no se salgan por el exterior. Un aspecto que se implementó, es una malla del mismo material ubicada diagonalmente al inicio del filtro. Esta permitirá que el agua en exceso que baje por gravedad, se filtre para que no exista acumulación de material en ningún punto. Al final de la banda debería existir un raspador para permitir que todos los sólidos sean expulsados. Es indispensable el uso de este raspador, ya que los sólidos tienden a pegarse al material. El tanque de recolección de agua tendría una inclinación hacia el centro en donde se ubicará un drenaje que, por medio de una tubería de 12", transportaría el agua filtrada hacia los tanques de recuperación.

La dosis de cal necesaria respecto al flujo de 19.73 kg/s de lodo es de 0.375 kg/s. Para el sistema de estabilización de lodos será necesario utilizar dos tornillos transportadores de hierro fundido, uno para mezcla de cal con lodo y el segundo solamente para el transporte de la mezcla hacia el patio de secado. Para determinar qué tipo de tornillo se necesita para cada función se observó el tipo de tornillos que existen y que funciones proveen, como para el primer tornillo transportador se necesitaba una mezcla de cal con el lodo se determinó que el tornillo de tipo vuelo de cinta seccional fue el más adecuado para el tipo de función que se requiere, ya que con ese tornillo se logra la mezcla de los materiales, en especial para el manejo de materiales con alta viscosidad, y pegajosos. Para este tornillo transportador se determinó que se necesita una longitud de cuatro metros y trabajar con un flujo de 63.98 m³/h, al realizar el cálculo se determinó la velocidad del tornillo de transportador que fue de 36.33 RMP a partir de esta velocidad se determinó el eje del tornillo (se muestra en el Cálculo No. 9), el cual fue de 0.0838 m. El tornillo transportador requiere un motor de potencia de 5 Hp ya que no existen motores de 4.61 Hp. Debido a la longitud del tornillo transportador se formara una deflexión de 0.00549 con un torque de 980.02 Nm. Con base al segundo tornillo transportador, el cual requiere una mayor longitud de ocho metros y con una inclinación de 20°, este tornillo transportador deberá de tener la boquilla de descarga dentro del patio de secado, es por ello que con ocho metros de longitud es suficiente, para esto se determinó que el tipo de tornillo a utilizar es "Paso corto" como se observa en la Figura No. 11 ya que este mismo nos permite transportar el material con un ángulo de 20° de inclinación en el tornillo. A partir de la selección del tipo de tornillo se determinó la velocidad del tornillo el cual fue de 36.33 RMP, con un diámetro en el eje de 0.0838 metros, tratando el mismo flujo del transportador 1, la diferencia

de este segundo tornillo con el primero es que el segundo necesita mayor potencia debido a la longitud del mismo, para esto se requiere una potencia de 10Hp para el motor. Ya que es un tornillo sumamente largo se producirá una deflexión de 0.00431 metros lo cual se encuentra por debajo del máximo permitido que es de 0.00635 m. Para lograr la rotación del eje, la fuerza por la longitud llamada torque es de 1,960.03 Nm, como tercer tornillo transportador se determinó que se necesitará uno con una potencia de 0.5 Hp, 9.68 RMP, un tornillo con diámetro de 0.2286 m para transportar la cal, a este mismo tornillo se calculó una deflexión de cero metros con torque de 247.25 Nm. Luego de definir qué requerimientos se necesitarán en los tornillos transportadores, se procedió a determinar el tipo de tolvas que se utilizará para mantener el flujo del filtro banda en el tornillo transportador y para alimentar y descargar los dos tornillos transportadores a utilizar. La primera tolva se diseñó convenientemente a la forma del filtro banda para reducir pérdidas de lodo, las dimensiones son, un ancho de 65 cm en la parte superior y 2,134 cm de largo, 50 cm de altura y 45 cm de ancho en la descarga con 2,134 cm de largo. La segunda tolva se diseñó con 50 cm de ancho y largo en la parte superior, 20 cm de altura y 40 cm de ancho y largo en la descarga.

La cal sería dosificada en el final de la alimentación de lodo en el transportador de tornillo sin fin, esto para lograr una mezcla homogénea de lodo y cal, a partir de esto es necesario un tercer tornillo transportador de hierro fundido, con un silo de hierro fundido para el almacenamiento de cal. Para el diseño del silo se utilizó un cilindro de volumen de 3.06 m^3 al cual se determinó el diámetro necesario para el silo (como se observa en el Cálculo No. 5), para determinar la altura del mismo se asumió una altura de cuatro veces el radio, existe una regla gruesa que dice que la altura de un silo es el doble del diámetro con esto se estaría obteniendo una altura de 2.4978 m y un diámetro de 1.248 m la cual es necesaria para almacenar 3.06 m^3 de cal. La tolva de este silo deberá tener un ángulo de 70° por el ángulo de reposo de la cal y así evitar canales de ratón o algún otro problema con la fluidez de la cal, un espesor de 0.0047 m (3/16"), con una altura de 1.418 m, un diámetro de 1.248 m en la parte superior del cono truncado y 0.2159 m de diámetro en la descarga hacia el tornillo transportador, este diámetro no es el mismo al diámetro del tornillo a utilizar por cuestiones de minimizar las pérdidas de cal, este diámetro es para que la cal caiga justamente en el tornillo transportador y no en los bordes del mismo. En la Figura No. 34 se puede observar todas las dimensiones del silo, tolva y tornillo transportador. Para el tornillo transportador de cal se determinó que este deberá dosificar $0.612 \text{ m}^3/\text{h}$ o 1353.12 kg/h , como esta operación se realiza durante cinco horas es por ello que el total de masa o volumen por hora es de $6,765.66 \text{ kg/h}$ o $3.06 \text{ m}^3/\text{h}$ de cal. El volumen total del silo más el de la tolva es de 3.728 m^3 , lo cual

representa que el 21.8% del volumen del silo se encuentra en la tolva, dejando así espacio libre en el silo en vez de estar lleno.

Uno de los procesos que más se utiliza en la industria es el secado por medio de convección de aire en bandejas. Se determinaron los requerimientos de este proceso para evaluar si es factible utilizarlo para el secado de los sólidos. Para determinar los requerimientos de este proceso se hizo una serie de corridas para determinar la curva de secado en función de su fracción en masa de humedad en sólidos secos, como se muestra en la Tabla No. Tabla. Con estos valores se logró construir una curva de rapidez de secado para los sólidos residuales. Al observar la curva, ésta se asemeja mucho a una curva típica de secado, como se muestra en la Figura No.22, por lo que los resultados sí son representativos. Esto se logró gracias a la gran cantidad de datos obtenidos durante los diferentes días. Estas curvas se representan en Gráficas No. 3 a No. 9. Gracias a la curva de rapidez de secado se logró obtener un valor de rapidez constante para este sistema de $0.0035 \pm 0.0001 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$. Con este valor, se estableció que se trabajará a las mismas condiciones de operación (mostradas en el apéndice) y con bandejas de un metro cuadrado. El tamaño de bandejas se eligió de forma arbitraria, de tal forma que no sea muy grande la masa de sólidos húmedos afectando el tiempo de secado y dificultad el manejo por parte de los operarios o máquinas. El tiempo necesario para secar cada bandeja es de $18,930.09 \pm 403.94 \text{ min}$. Este tiempo es muy grande y se debe a la baja rapidez de secado. La temperatura de operación es de 56°C , la cual es muy baja y puede ser el principal componente para este largo tiempo, ya que siempre es necesario operar con sistemas de temperaturas muy altas, por lo que se recomienda evaluar este sistema con una temperatura mucho mayor. También afecta la humedad inicial que es aproximadamente 70%, que es mucha la cantidad de agua que es necesario eliminar.

Para determinar si el secado de sólidos por medio de convección de aire es factible, es necesario conocer los requerimientos energéticos del sistema. Con las dimensiones de las bandejas (1m^2), la cantidad de bandejas necesarias para el procedimiento es de 10,662. Esta cantidad es muy grande y es necesario considerar que la planta cuenta con cuatro tanques de lavado. Para determinar toda la energía necesaria, se consideró un solo proceso, a pesar de ser necesario realizar varias corridas ya que el equipo tendría que ser muy grande para contener todas las bandejas en una sola corrida, pero de igual forma es necesario secar todas las bandejas, por lo que se incluyeron en un solo proceso. La cantidad necesaria de energía para completar el secado es de $4.23 \times 10^7 \pm 9.73 \times 10^5 \text{ kJ}$. Las grandes cantidades de energía y de bandejas necesarias para procesar para cada tanque de sedimentación, hacen del proceso demasiado difícil de lograr y conllevaría a un costo demasiado alto.

Como segunda determinación se realizó un proceso de secado continuo para conocer los requerimientos energéticos y evaluar su posible utilización. Como proceso, se determinó un tiempo de 72h y controlar el flujo másico que fue de 4953.33kg/h que es un flujo muy alto. Los requerimientos de humedad final se establecieron en un valor de 20% para seguir comparando el proceso a las mismas condiciones que los otros establecidos. Las temperaturas de aire y sólido en la entrada y salida del proceso, también se establecieron como requerimientos del proceso. La humedad relativa del aire se estableció como 60% ya que es un aproximado de la humedad que existe en la ciudad de Guatemala diariamente. Debido a los altos requerimientos de flujo másico, la cantidad energética necesaria es muy grande. El flujo de energía es de 4.61×10^7 kJ/h, que es muy alto para el proceso total. En los secadores continuos, se debe utilizar gas licuado de petróleo (GLP) o propano como fuente de calor para aumentar la temperatura. Para el proceso el requerimiento de GLP es de 995 kh/h, lo que representaría una cantidad total de 71.62 ton de GLP. Esta cantidad de combustible hace que el proceso sea técnicamente no viable. Requeriría altos costos en compras y grandes espacios de almacenaje para poder ser procesados los sólidos. La razón por la que los requerimientos son muy altos también se debe a la alta disminución de la humedad en la muestra de los sólidos.

Un proceso alternativo y más barato es la utilización de energía solar para lograr el secado. El inconveniente que se presentó al evaluar esta alternativa fue la necesidad de un área muy grande ya que se necesita esparcir los sólidos en capas delgadas para no dificultar el tiempo de secado. Mientras más gruesa es la capa, más tiempo se necesitaría para secar los sólidos. Al realizar un análisis de campo, se logró determinar que la planta cuenta con un espacio de 47x47m y según los cálculos de sólidos en el patio, el área necesaria sería de 25.82x25.8 m. Para poder absorber variaciones en las cantidades de sólidos, se realizó un sobredimensionamiento de 13% requiriendo un área de 30 x 30 m que sigue siendo espacio disponible para este proceso. Según las mediciones en el filtro de banda, el secado de sol logra disminuir la humedad en aproximadamente $4.18 \pm 0.24\%$ de humedad por hora para una cama de aproximadamente 2cm. Esta razón fue determinada en un día soleado, por lo que hay que tomar en consideración los cambios climáticos en el tiempo de secado. En la Tabla No. Tabla se observa que la razón de secado es de 4.21% diario para una cama de 15cm de espesor. La forma en la que se calculó fue en el secado de la parte superior durante la exposición solar, asumiendo un espesor de 2cm para esta parte. Al final del día se debería mezclar la muestra y así poder homogenizar la humedad. También afectaría el secado si no se mezcla, ya que la parte superior solo se calentaría y no se lograría evaporar el agua inferior de forma fácil. Con este proceso se lograría una reducción de humedad hasta el 40% durante 7 días de secado.

Este porcentaje ya se podría manejar de mejor forma, pero un flujo de aire ayudaría a mejorar el proceso.

El aire en un proceso de secado ayudaría a evaporar de mejor forma el agua hasta que este se sature. Como porcentaje de aumento en humedad relativa se estableció un 80%, ya que no se podría llegar hasta una saturación del 100%. Como humedad en el ambiente, se siguió utilizando una humedad relativa de 60%. En las visitas a la planta, se observó que siempre existe un flujo de aire que podría ser aprovechado para eliminar la implementación de ventiladores. El INSIVUMEH cuenta con los datos de las velocidades desde febrero del año 2012. Para poder determinar los mayores requerimientos, se utilizó la velocidad más baja que es de 4m/s. Para poder tener un valor más real, es necesario poder conocer los datos que hacen falta para el mes de febrero, enero, noviembre y diciembre ya que no se cuentan con estos datos. Para determinar el flujo volumétrico se estableció que el área de entrada en la galera es 70% del total. Esto debido a la estructura y protección que son necesarios en la estructura. El flujo que se manejaría es de 1,058,000m³/h. Se realizó una comparación con la cantidad de aire necesaria para determinar si este flujo es suficiente para poder satisfacer las necesidades del secado. Siguiendo con los mismos requerimientos para el proceso sin flujo de aire, la cantidad de aire disponible supera a la cantidad de aire necesario que es de 111.8m³/h. Esta cantidad muestra el flujo en el cual se evapora el agua hasta llegar a 80% de humedad relativa. En este punto el gradiente de transferencia de masa bajaría por lo que es necesario renovarlo. Según el volumen de la galera, existen 294 ren/h y son necesarias 0.03ren/h, por lo que se esperaría que se logre el secado en 7 días de exposición solar. Es importante que de igual forma se siga el procedimiento diario de mezclado de lodos para garantizar la transferencia de agua en los sólidos hacia el aire.

En el Diagrama No.3 se muestra el diagrama de flujo de la planta de secado y tratamiento de los sólidos residuales. El primer equipo es el filtro de banda, el cual es el responsable de separar los sólidos y el agua en exceso como se explicó anteriormente. El agua que sale por la parte inferior del filtro es transportada hacia los tanques de recuperación que posee la planta y luego serán retornados al por una bomba que también cuenta la planta. Los sólidos residuales que salen con aproximadamente 70 % de humedad serán trasladados hacia el patio de secado por medio de un tornillo sin fin, en el cual se dosificará cal para lograr la estabilización de estos. Luego del patio de secado, se debe contar con proceso de llenado de sólidos en recipientes de tamaños adecuados y el almacenaje de estos mismos. Los tanques de recuperación ya están instalados dentro de la planta y cuentan con una bomba dimensionada para transportar el flujo de agua al inicio del proceso. En el caso de la evaluación topográfica, no se cuenta con la

información necesaria para poder conocer si la pendiente entre la salida de los tanques de recuperación y el lugar en donde se instalará la banda es mayor al 2% necesaria para lograr el flujo. Se realizaron pruebas para conocer una diferencia de altura por medio de un altímetro y sí es menor en el área disponible, pero no es muy certera ya que varía en 10m.

Es necesario tomar en cuenta que los flujos que ingresen a la planta de procesos siempre variarán debido a que los operarios encargados de lavar los tanques no lo realizan de una forma estandarizada. A pesar de ser un proceso difícil, es necesario contar con un procedimiento de lavado en el cual sea controlado para que los flujos no aumenten de tal forma que supere la capacidad de la planta diseñada. Es necesario controlar que los flujos no aumenten de 56 L/s para que los equipos de la planta no lleguen a superar su capacidad. Esto se logrará con un lazo de control de flujo controlado desde un cuarto de control.

Por medio del sistema propuesto se reduce el impacto ambiental negativo que tiene actualmente el proceso de vaciado de tanques de sedimentación. Se recuperaría completamente toda el agua clarificada que se encuentra en los tanques de sedimentación; esto reduce la cantidad de agua que debe de entrar al proceso de tratamiento de agua por lo que se reduce la cantidad de agua fresca consumida. Se recuperaría además el agua utilizada en el lavado de los tanques, por lo que se reducirían los costos que representa el uso y pérdida de dicha fuente de agua. Finalmente, al evitar que los lodos se desechen directamente al río se está eliminando el daño ecológico que causan los lodos directamente a ese cuerpo receptor, e indirectamente al lago de Amatitlán. Al darles a los lodos la disposición final correcta o un uso alternativo se estaría cumpliendo también con los aspectos legales establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006. El proceso de tratamiento de lodos propuesto también tiene cierto impacto ambiental ya que el uso de los equipos propuestos requiere del uso de energía eléctrica para su funcionamiento. Indirectamente esto contribuye a los gases de efecto invernadero por la forma de producción de la energía eléctrica. A fin de reducir el impacto que tiene el proceso se debe asegurar que este sea eficiente y mantener los equipos en buen estado; además se debe considerar que los equipos únicamente estarán en funcionamiento cuando se laven los tanques que anualmente serían aproximadamente 88 veces por lo que no es un consumo constante de energía eléctrica. El consumo anual de energía eléctrica que tendría el sistema de tratamiento de lodos propuesto sería de 12,380.52 kWh.

En el Apéndice II, Inciso F se puede encontrar una propuesta de la calendarización de lavado de cada tanque según la temporada; la calendarización presentada es para el año 2013, sin embargo es la distribución general de los lavados la que es de interés. No se deben lavar más de dos tanques a la semana, esto se debe a la capacidad de lodos que tiene el patio de

secado. Durante invierno se sugiere realizar la lavada de los dos tanques al inicio de la semana, esto a fin de permitir que los lodos estén en el patio de secado por lo menos por una semana; esto se debe a que durante esta época los niveles de humedad en el medio ambiente son mayores. Se sugiere además implementar en los patios de secado algún tipo de protección contra el clima que evite que los lodos sean mojados por las lluvias, pero que a la vez permita el aprovechamiento de la energía solar. Durante el período de verano los tanques se deben lavar aproximadamente cada tres semanas. Se recomienda calendarizar el lavado de los tanques a fin de dejar un espacio de aproximadamente 3 ó 4 días entre lavados. Esto permitirá aprovechar las condiciones climáticas para asegurar un secado más eficiente de los lodos que podrán ser mejor esparcidos por todo el patio de secado.

Se realizó todo un proceso de evaluación, donde se logró evaluar a la planta de tratamientos de agua con respecto al proceso de floculación. Se logró determinar los tiempos de residencia del agua para la época de verano e invierno, para luego compararlos con el tiempo de residencia recomendado por el estudio realizado por TeKippe y Ham, el cual es mostrado en resumen en el capítulo de Floculación de la Ingeniera Lidia de Vargas (el resumen puede ser visto en el marco teórico). Este estudio fue utilizado para comparar los tiempos de residencia del agua que la Empresa Municipal de Agua muestra en la planta Lo de Coy.

El estudio fue realizado con los instrumentos de medición elaborados, los cuales con la ayuda de un cronómetro se pudo realizar la toma de tiempos, en lo que llegaba desde el inicio de floculación, hacia el final de éste. Luego de haber realizado el estudio y todos los cálculos necesarios se puede ver que en la sección de "Floculación", según el estudio de tiempos realizado, hay un problema cuando se utiliza un caudal mayor a 1,176 L/s ó 1.176 m³/s en el parshall principal (canal de entrada) y 392 L/s ó 0.392 m³/s para los parshall secundarios (floculadores). Esto es dado a que los tiempos de residencia del agua en la sección de floculación, para el caso de verano, se trata de un tiempo de residencia de 21.26 min en promedio, lo cual según lo teórico del tiempo de residencia del agua, debe rondar entre 20 y 40 min para estar en lo normal u óptimo para la generación correcta de flóculos.

Por ello al momento de recibir un mayor caudal, este tiempo se reduce, como lo fue en invierno con un caudal de 1586 l/s ó 1.586 m³/s para el Parshall principal (canal de entrada), lo cual en cada floculador (hay tres floculadores en la planta) corresponde a un caudal de entrada de 528 L/s ó 0.528 m³/s. En este caso el tiempo de residencia se redujo en un 18.85% en relación al tiempo de verano. Esto corresponde a un tiempo de residencia promedio de 17.25 minutos, el cual está debajo de lo normal.

Por lo tanto al haber un tiempo de residencia reducido, existe una mayor velocidad de flujo y por ende un mayor caudal. Esto quiere decir que los flóculos han crecido de tamaño al principio de floculación, debido al flujo turbulento del agua presente, pero estos flóculos generados llegan a tal tamaño que sus fuerzas internas de corte o sus fuerzas de cizallamiento han llegado a alcanzar una intensidad que rompe en partículas menores a los flóculos, lo cual genera que el proceso de sedimentación se prolongue debido a la turbidez generada y el sentido de floculación va perdiendo su objetivo. En palabras más simples, los flóculos generados de lodos se van desintegrando, lo cual al momento de llegar al proceso de sedimentación, llegan menores flóculos que en el caso de verano, y por ello es más difícil que se generen sedimentos rápidamente.

El tiempo no es muy alejado al más bajo de lo recomendado, en el caso de verano, pero si la planta de tratamientos de agua deseara introducir un mayor caudal, cómo lo hace en invierno, tendrían ciertos problemas con el tema de la floculación y sedimentación, el cual se prolongaría un poco más de lo normal. Pero, ¿qué efecto tiene esto?

Para responder esta pregunta es necesario ver el proceso después de floculación, en este caso la etapa de sedimentación y filtración. El proceso de floculación es el encargado de generar los “flóculos” de lodo, que es una unión de partículas de lodo que luego decanta en el proceso de sedimentación. El proceso de sedimentación al recibir los flóculos, se encarga de decantar o sedimentar los flóculos hacia el fondo de los tanques, dado que se separan las partículas de lodo con las del agua. Este es el fin del proceso de sedimentación, lograr obtener agua más libre de partículas para luego ser filtrada y así eliminar esas partículas. Por último el proceso de filtración es el encargado de eliminar estas partículas remanentes en el agua como anteriormente se mencionó.

Si los flóculos no son generados de buena forma, el proceso de sedimentación se prolonga, dado que por la turbidez generada, las partículas tardan en decantar y el equipo perjudicado para poder suplir la demanda, por ser un proceso continuo, es el equipo de los filtros.

Por lo tanto al tener una residencia del agua en la sección de los floculadores menor a la recomendada los filtros son los que absorben el impacto, lo cual quiere decir una “Mayor cantidad de veces de limpieza de filtros”, lo cual conlleva a costos de limpieza de los filtros y tiempo perdido para la producción. Los filtros son limpiados, en verano, cada 12 horas (con fuente del Ing. José Cáceres, EMPAGUA); pero en invierno el tiempo se reduce de 8 a 10 horas, lo cual demuestra que existe una mayor cantidad de limpiados de filtros.

Luego por medio de la observación en la sección de floculación se pudo apreciar que

existen tiempos muertos, demasiado variables, dado que al introducir el objeto o instrumento de medición, en ciertas esquinas de los floculadores se frenaba y permanecía inmóvil. Por lo cual se pudo apreciar que no había flujo de agua en esos instantes, es decir, el agua permanecía inmóvil en esas esquinas. Por ello es que se logró ver que el diseño de los floculadores en ciertas esquinas debe ser redondeado o curvado, dado que si no se hace esto se estarían generando “Sedimentos en la sección de floculación”. Por ello se propone redondear ciertas esquinas con respecto a la dirección del flujo. (Ver anexo de propuesta de reingeniería en sección de floculadores).

Estas esquinas pueden ser redondeadas con un radio entre 0.75 y 1 metro. Con ello se estaría logrando evitar esos tiempos muertos y los remolinos generados en las esquinas, dado que el flujo fluiría de una mejor forma y más uniforme en ellas. El flujo turbulento se generaría entre pantallas, lo cual ayudaría a la generación de los flóculos.

Por lo tanto, al momento de redondear o curvar estas esquinas, se evitarían los tiempos muertos y la sedimentación de partículas de lodo en la sección de floculadores, todo esto con el fin de hacer del proceso de floculación, un proceso más eficiente dado que los flóculos decantarían en la sección de los sedimentadores.

Con respecto a “Seguridad Industrial” Se pudieron determinar varios riesgos y peligros que muestra la planta de tratamientos de agua. Es necesario que se cubran estos aspectos mostrados en la matriz de riesgos y peligros, dado que es mejor invertir en seguridad para los empleados y seguridad de la empresa que luego verse afectado por una catástrofe o problemas dados por los mismos.

Dentro de los peligros identificados, está el del manejo de sustancias químicas dañinas como lo es el sulfato de aluminio. Este es un peligro, dado que este químico puede causar quemaduras a los ojos, membranas mucosas y a la piel. El personal involucrado puede sufrir de problemas respiratorios y gastrointestinales. El personal expuesto es el encargado del área de tolvas y limpieza de ellas. Cabe mencionar que a los operarios no se les provee de indumentaria adecuada para el uso de este químico. Por lo tanto el operario toma el riesgo para poder realizar el suministro del químico al proceso.

Por otro lado la conservación de tanques de gas cloro con un remanente de éste puede ser peligroso. Esto es dado a que la corrosión llega a tal nivel que el cilindro que lo contiene se ve afectado y puede llegar a provocar una liberación del gas tóxico al ambiente. El gas cloro puede provocar por inhalación edema pulmonar y corrosión a ojos, piel y tracto respiratorio. Por lo tanto si en dado caso llega a generarse una liberación del gas, el personal involucrado o personas cercanas que inhalen o estén en contacto directo con este, pueden

sufrir serios problemas a causa del gas venenoso.

Cabe mencionar que otro de los peligros mencionados en el análisis de riesgos y peligros, se encuentra el de violar las reglas y procedimientos establecidos. Al momento de ser violados los procedimientos o reglas se puede influir en el desempeño del control y producción de la planta de tratamiento. Por lo tanto el riesgo es el de la negligencia del personal, esto puede ser por varios motivos, como lo son las distracciones, falta de atención al proceso, mala dosificación de químicos y otros. La negligencia del personal puede llevar a pérdida de tiempo y errores que pueden causar pérdidas para la empresa. También puede llegar a ocasionar otros serios problemas como la mala manipulación de tanques de gas cloro, lo cual al final puede desencadenar una serie de serios problemas.

Viendo la clasificación extrema de dos riesgos encontrados, es necesario tener la atención enfocada en ellos, pero sobre todo el caso de las tuberías corroídas y de los soportes que las detienen, las bridas de retención. La corrosión generada en estas tuberías y bridas de retención es grave, esto es dado a que las bridas han dejado de sostener a cierta sección de tubería, la cual puede llegar a colapsar. Si la planta no invierte en un tratamiento preventivo se verá perjudicada en pocos años, dado que puede llegar al punto de colapsar la sección de cloración y la tubería instalada verse afectada de tal forma que se frenaría todo el proceso, lo cual conlleva a pérdidas graves para la empresa. Es de suma importancia el tratamiento preventivo en esta sección, dado que desde el punto de vista educacional, la planta de tratamientos de agua recibe visitas y si llega a ocurrir un problema relacionado a ello el nombre de la empresa entra en juego. Esto puede generar una gran polémica con respecto al cuidado que la Municipalidad de Guatemala tiene con respecto a la planta de tratamiento.

Por otro lado se ha realizado un análisis HEMP, en el cual se detallan las posibles causas que pueden liberar los peligros, las amenazas. Los riesgos que estas amenazas pueden llegar a generar y el posible control sobre estas amenazas, con el fin de evitar el evento no deseado, el cual es la liberación del peligro. Se proponen ciertas medidas de recuperación con respecto al evento no deseado y las consecuencias que puede haber al tener la liberación del peligro. Todo esto se logró detallar en el cuadro del análisis HEMP, con el fin de que EMPAGUA vea las posibles amenazas que tiene la planta, así como sus medidas de control y qué hacer con respecto a la liberación de un peligro.

En el caso de la mejora continua de la empresa con la propuesta realizada se estarían mejorando varios aspectos como el de la conservación de los materiales u objetos necesarios, como lo son las mangueras. Se estaría incrementando su tiempo de vida o uso, dado que ya no se estarían deteriorando con el efecto de la luz solar. Las palas tendrían una

posibilidad de oxidación reducida, al igual que las carretillas y el montacargas. Se tendría todo más organizado, limpio y bien cuidado. Se eliminarían los innecesarios incrementando el área disponible para su utilización de una forma más adecuada. Se reducirían los riesgos y peligros mostrados por cilindros viejos de gas cloro, objetos dejados en el camino, cuarto de almacenados de químicos en un mejor estado, reduciendo el riesgo de una inhalación del químico de sulfato de aluminio. Por último una reducción en tiempo de búsqueda de objetos dado que todo estaría más organizado.

Luego tratándose de la evaluación de la propuesta si se logra implementar la planta de secados de lodos semi-automatizada, dado que siempre involucra trabajo por parte de los empleados, con una ensacadora para el proceso de empaque, se tiene una muy buena propuesta. Esto es dado a que al hacer el análisis de costos involucrados y flujos de efectivo proyectados posibles, se tiene un TIR (Tasa Interna de Retorno) de 21.99%, sobre la Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento del 16%, lo cual hace rentable el proyecto de la planta de secados de lodos. Por medio del método del valor presente neto, se obtuvo un valor de Q1, 651,110.86.00, lo cual muestra la rentabilidad del proyecto.

Al realizar el análisis de sensibilidad se puede apreciar claramente que la variable que puede afectar más a la planta de secados es la inflación del país, esto es dado a que afecta tanto al precio como a los costos de la planta. Éste es un tema difícil de tratar dado que la inflación es variable y no muestra una tendencia fija. El precio de venta se incrementa y es mayor el beneficio que se obtiene de ello que los costos con efecto de inflación. El crecimiento de la población es otro factor que afecta a la demanda, pero cabe mencionar que se trabajó con metas de demanda, lo cual no llega a afectar a la evaluación. Esto es dado a que ya se tiene una capacidad de producción de la planta de secados de lodos y sobre esta capacidad se deberá trabajar. Otra variable sensible según el análisis de sensibilidad es el de los costos de distribución, pero estos pueden ser manejados por la empresa ya sea por relaciones empresariales o comprando sus propios vehículos para la distribución del producto.

Desde el punto de vista mercadológico, la introducción del producto será la más difícil. Esto es dado a que se trata de un producto nuevo, el cual no es conocido por la demanda. Por lo tanto estaría en la etapa de introducción en el ciclo de vida de un producto en el mercado. Por ello se involucra altos costos de mercadeo del producto desde un inicio. Esto será por los primeros años con el fin de introducir el producto en el mercado, luego que el producto entre en la etapa de crecimiento se logrará mantener en un ritmo estable. Por lo que viendo la curva de demanda mostrada en el Gráfico 1, se puede apreciar según las metas impuestas la estabilidad de la demanda en el resto de años, con un mejor control de la

producción para evitar desde un principio utilizar la capacidad máxima de la planta y evitar los altos costos de almacenamiento que involucraría toda la producción. Es decir, se trata de regular la producción para evitar producir más de lo que se va a lograr vender, esto es un excedente de producción que conlleva a altos costos de almacenamiento por conservar el producto en una bodega.

Se tomó la decisión de la semi-automatización e inversión de maquinaria industrial de alto calibre para la producción correcta y poder suplir a la demanda objetivo de los últimos años de la evaluación, también con el fin de prolongar el buen funcionamiento de la planta de secado de lodos. Es por ello que se realizó una cotización de una ensacadora vertical, la cual será encargada del empacado de los lodos tratados para su pronta distribución.

Con respecto al tema del retorno de la inversión, debido al comportamiento de los flujos de efectivo proyectados, se puede apreciar que la inversión se recuperaría entre el año 5 y 6, y luego de ello se tendrán flujos de efectivo con una buena utilidad, por el tema de las metas de la demanda.

Actualmente la sección de Parques y Áreas Verdes de la Municipalidad de Guatemala, es la encargada de la jardinería de Guatemala. Es por ello que se tomó como un escenario alternativo, la utilización de los lodos para el uso de la jardinería. Para poder ser utilizado este como un complemento, se necesitaría utilizar un 10% en lodo tratado y un 90% de fertilizante para una mezcla que puede ser utilizada en jardinería. Esto representaría un beneficio para Parques y Áreas Verdes, un beneficio del 10% sobre el gasto que tienen anualmente y el uso de kilogramos de fertilizante. El beneficio de ellos es de Q5, 256.10, que representan 476.27 kg de fertilizante no utilizado, por tomar el 10% de lodos tratados como complemento.

Cabe mencionar que esto representa un gasto para EMPAGUA, con respecto a la planta de tratamiento de lodos, esto es dado que el 10% que se utilizaría, serían 476.27 kg de lodos tratados, lo que representa un costo anual de Q36.70. Este fue incluido en el flujo de efectivo como una "donación" hacia Parques y Áreas Verdes de la Municipalidad de Guatemala. Esta donación no repercute tanto en el flujo de efectivo, no afecta en gran forma a la tasa interna de retorno y tampoco al tiempo de recuperación de la inversión, el cual permanece durante los años 5 y 6.

Por lo tanto la planta de secados de lodos, la propuesta que se desea implementar, es rentable. Esto es dado a que los costos de producir lodo para EMPAGUA son bastante reducidos, dado que es el subproducto del agua tratada. Y el beneficio que se puede obtener de ello es bastante grande, no sólo tratándose de la utilidad de EMPAGUA, la cual se vería beneficiada en gran cantidad, sino que también el beneficio medio ambiental, con lo cual al

momento de implementar la propuesta se reduciría el retorno de lodos a los ríos.

Se realizó un estudio sobre las charlas informativas impartidas por EMPAGUA, esto a fin de educar a la población sobre el uso adecuado del agua y el manejo correcto de los recursos hídricos. Primero se estudió la preparación de los visitantes previo a la visita de la planta. En los resultados se puede ver que un 85% de los 65 encuestados si recibieron una introducción previa al recorrido. Esta respuesta es positiva ya que es muy importante que los estudiantes estén preparados ante una actividad tan compleja como esta, conocer los métodos de purificación sistemática del agua requiere de explicaciones previas y del refuerzo de temas entorno al recurso natural.

Parte fundamental de la buena preparación para asistir a la actividad en la planta de purificación “Lo de Coy” es el conocimiento en cuanto al agua, sus procesos y su purificación. Es importante primero entender al recurso en sí, apreciarlo en sus distintas facetas así como la magnitud que representa en el planeta tierra. El hombre con su inteligencia interviene para purificarla ya que ésta al ser descuidada constantemente pierde su pureza. Conocimientos de este nivel son complejos de entender ya que involucran actitudes y reflexiones propias de cada alumno; en la medida que ellos sean sometidos a más concientización y enseñanza profunda del agua mayor será su apreciación y entendimiento de lo que hace el hombre para que cada uno de nosotros reciba agua potable en sus grifos.

Como se puede ver en los resultados, la edad de los alumnos afecta significativamente en que tanto aprendió o no luego de las explicaciones. Es importante atender al resultado de que a mayor edad, mayor retentiva y mayor capacidad de que el alumno cree su propio juicio. Es probable que por ser mayor el número de estudiante que tenía edad mayor a 11 años respondieran que sí habían tenido una previa preparación a la actividad.

La mayoría de los estudiantes, en más del 90%, respondió con una respuesta positiva al preguntarles de su opinión con relación a la visita. Esto muestra el nivel de satisfacción de los asistentes y es un indicador importante para los resultados del estudio. Es de mucha importancia prestar atención a la combinación de los resultados del conocimiento adquirido y la satisfacción. Si bien es cierto, la motivación es parte fundamental del aprendizaje solo esta no es suficiente para garantizarlo. Los conocimientos previos, los factores externos, las herramientas didácticas y la forma de enseñanza contribuyen en su totalidad al aprendizaje. Es por ello que no se debe enfocar la actividad educativa solamente en propiciar que los estudiantes se sientan agradados sino en impulsar que sus maestros los preparen para conocer los procesos en su totalidad.

Se desarrolló un programa educativo para EMPAGUA a fin de crear conciencia en la

población estudiantil de Guatemala sobre el uso adecuado de los recursos hídricos con los que se cuenta. Aquí se presentan los resultados más significativos relacionados a toda la parte de la metodología de la investigación. El análisis y discusión de resultados se hizo con base a los aspectos a evaluar del tema de investigación. Se refleja a grandes rasgos una comparación en las distintas preparaciones previas al recorrido en la planta y sus efectos en el aprendizaje de los alumnos.

Se hará a los alumnos una preparación previa al recorrido de la planta. A fin de recabar información para el mejoramiento del sistema de educación que posee la planta se realizó una encuesta. La pregunta principal y una de las más significativas fue, “¿Recibiste algún tipo de introducción a lo que ibas a aprender en tu visita a la planta?”. En los resultados es posible observar que un 85% de los 65 encuestados, sí recibieron una introducción previa al recorrido. Esta respuesta es positiva ya que es muy importante que los estudiantes estén preparados ante una actividad tan compleja como esta, conocer los métodos de purificación sistemática del agua requiere de explicaciones previas y del refuerzo de temas entorno al recurso natural por ello se considera que la respuesta es vaga y no detalla la calidad de la preparación.

Parte fundamental de la efectiva preparación para asistir a la actividad en la planta de purificación “Lo de Coy” es el conocimiento en cuanto al agua, sus procesos y su purificación posterior a los desechos sólidos que en ella se encuentran. Es importante primero entender al recurso en sí, apreciarlo en sus distintas facetas así como la magnitud que representa en el planeta tierra. El hombre con su inteligencia interviene para purificarla ya que ésta al ser contaminada con basura y químicos pierde su pureza. Conocimientos de este nivel son complejos de entender ya que involucran actitudes y reflexiones propias de cada alumno; en la medida que ellos sean sometidos a más concientización y enseñanza profunda del agua mayor será su apreciación y entendimiento de lo que hace el hombre para que cada uno de nosotros reciba agua potable en sus grifos.

La edad de los alumnos afecta significativamente en que tanto aprendió o no luego del proceso de enseñanza. Es importante atender al resultado de que a mayor edad, mayores aprendizajes previos y mayor capacidad de que el alumno cree su propio juicio. La activación de conocimientos previos es la primera etapa de la enseñanza y las últimas son la evaluación y aplicación de los mismos. Un aprendizaje total del conocimiento del agua debe darse luego de llevar al alumno por las etapas correspondientes y motivarlo a responder activamente a acciones en beneficio a la conservación del mismo.

En el análisis de la percepción de la actividad, es muy satisfactoria la respuesta positiva

de los estudiantes. La motivación es parte clave del aprendizaje pero si no va acompañada de un buen proceso de enseñanza el esfuerzo solo queda como una bonita actividad recreacional “fuera de la escuela”. Lo que se busca es que la actividad sea positiva y que promueva cambios en las actitudes de los participantes. Una respuesta positiva no garantiza los aprendizajes. El programa educativo actual solo desarrolla una fase de la enseñanza para la que si hay respuesta positiva. Queda pendiente conocer la percepción de la actividad en sus tres fases: pre, durante y post. Que es en esta propuesta que se añaden la primera y última etapas.

XI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la disposición final actual de los lodos residuales del proceso de tratamiento de agua en la planta "Lo de Coy", que suspendidos en agua tienen un volumen aproximado de $1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3$, tienen un efecto adverso en el río Villalobos ya que contribuyen a la acumulación de sólidos en el río, aumentan la cantidad de sólidos disueltos en el agua, y contribuyen a la eutrofización del río y posteriormente a la del lago de Amatitlán.
2. Durante el proceso de lavado de tanques de sedimentación de la planta "Lo de Coy" en época de invierno se utilizan, en promedio, $510.54 \pm 58.326 \text{ m}^3$ de agua previamente tratada (proveniente de tanques de sedimentación u otras partes del proceso) o completamente tratada (proveniente del suministro municipal de agua).
3. Anualmente se desperdician, en promedio, $209,315.983 \text{ m}^3$ de agua que incluye agua clarificada de los tanques y agua utilizada en el proceso de limpieza de los tanques. A largo plazo, implementando el sistema de tratamiento de lodos propuesto, se reduciría el impacto ambiental negativo que tiene la planta ya que se recuperaría toda el agua proveniente del proceso de sedimentación, y los lodos residuales serían utilizados para fines alternos.
4. El proceso de secado de sólidos a implementar en la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy", tendría una capacidad de recuperación aproximada de agua de 3130 m^3 y una recuperación de aproximadamente 93 m^3 de sólidos residuales secos semanalmente.
5. Se determinaron las curvas de secado y de rapidez de secado por medio de convección de aire para el tipo de sólidos tratados en la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy" obteniendo una rapidez de secado de $0.0035 \pm 0.0001 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$.
6. El proceso diseñado para eliminar el agua en exceso y recuperar los sólidos residuales se centra en un sistema de banda transportadora que actuaría como un filtro, el cual es de 8 m de longitud y 2.134 m de ancho con una capacidad de entrada de $0.0517 \text{ m}^3/\text{s}$ a una velocidad de 0.51 m/s . Esta tendría una recuperación de agua de $0.0340 \text{ m}^3/\text{s}$ y de sólidos de $0.0178 \text{ m}^3/\text{s}$.
7. Debido a la cantidad aproximada de 256.64 TM de sólidos residuales a secar, el alto tiempo de $315.5 \pm 6.7 \text{ h}$ y el requerimiento energético semanal muy alto de $4.23 \times 10^7 \pm 9.73 \times 10^5 \text{ kJ}$

para tratarlos por medio de un sistema de convección, este sistema es técnicamente no viable.

8. Debido a la cantidad energética necesaria de $4.61 \cdot 10^7 \text{kJ/h}$ y el flujo de 995kg/h de GLP, el proceso de secado continuo es técnicamente no viable.
9. Técnicamente, la mejor forma para secar los sólidos sería por medio de un sistema de secado solar en un patio con capacidad de 666.67m^2 , sin requerimiento energético. El flujo de aire también sería disponible en la planta de forma natural, lo que mejoraría este proceso.
10. Se logró determinar que una de las mejores opciones para el tratamiento de lodos, consiste en un pre tratamiento con cal el cual logra inactivar patógenos y malos olores y ser así clasificado como un lodo clase B y ser aplicado a suelos en concentraciones de 5% o 10% p/p.
11. Los componentes principales de los lodos, de una muestra tomada durante la época de invierno, fueron (en porcentaje m/m): 50.56% de SiO_2 , 19.39% de Al_2O_3 , y 18.65% de compuestos orgánicos. Los otros componentes de los lodos son: 4.30% de Fe_2O_3 , 1.76% de CaO , 1.98% de K_2O , 2.10% de Na_2O , 0.51% de P_2O_5 , 0.43% de TiO_2 , 0.05% de Cr_2O_3 , y 0.18% MnO .
12. Se logró determinar que la densidad relativa de los lodos fue de 1.56 g/cc con un porcentaje de absorción del 57.2%.
13. Se determinó que el lodo presenta un límite de plasticidad del 0%.
14. El lodo a manejar se puede describir como un limo arenoso de color café oscuro suelo altamente orgánico.
15. Se logró determinar varios parámetros del lodo residual de EMPAGUA, los cuales presentan una composición orgánica del lodo húmedo del 3.75%, humedad del 5% al 7%, densidad de $1,115 \text{ kg/m}^3$, viscosidad de 0.18 kg/ms con un porcentaje de ceniza del 28%. Para el lodo seco se determinó una composición orgánica del 20%, humedad entre el rango de 79% - 85% y una capacidad calorífica de 945.74 kJ/kg .
16. El lodo luego de su tratamiento con cal y secado, se puede utilizar aplicación al suelo en forma de abono para el cultivo de plantas de tallos altos como las plantas de milpa, cilantro,

plantas ornamentales y para la jardinería de los parques de la Ciudad de Guatemala. También para la realización de bancas, estructuras decorativas y bordes de banquetas ya que el lodo presenta una consistencia de suelo firme comprendida en un rango de 1.23 a 1.45 kg/cm².

17. Se logró determinar que se necesitan tres transportadores de tornillo sin fin, un tornillo de vuelo de cinta de 0.508m con un motor de 5 Hp con, otro tornillo de vuelo de corte de paso corto seccional de 0.508 m con un motor de 10 Hp y un último de vuelo de corte de paso corto seccional de 0.2286m con un motor de 0.5 Hp.
18. Se determinó que se necesita un silo para almacenar 3.06 m³ de cal de forma cilíndrica de 1.248 m de diámetro y 2.496m de altura.
19. Se logró realizar el dimensionamiento del patio de secado de 25.8 x 25.8 m de largo y ancho.
20. Se logró realizar el plano de la planta de tratamiento y secado del lodo.
21. El sistema de tratamiento de lodos propuesto por el presente Megaproyecto requiere energía eléctrica para su operación, sin embargo el consumo de la misma es limitado dado que el sistema se utilizaría únicamente cuando se haga lavado de los tanques de sedimentación. El consumo energético anual sería de 12, 380.52 kWh.
22. El manejo adecuado de los residuos obtenidos durante el proceso de lavado de los tanques de sedimentación representaría a la empresa EMPAGUA ahorros en las cantidades de agua de lavado de tanques ya que esta sería completamente reutilizada en el proceso.
23. Se determinó, en verano, el tiempo de residencia de agua en los floculadores, siendo éste de 21.26 minutos en promedio, lo cual está dentro del rango de lo aceptable de 20 a 40 minutos. En invierno se obtuvo un tiempo de residencia promedio de 17.25 minutos, el cual está fuera del rango de lo aceptable. Por lo tanto el proceso de sedimentación al tener agua con mayor turbidez se prolonga, pero al ser un proceso de flujo continuo, los filtros son afectados.
24. El proceso de floculación debe ser rediseñado, dado que en ciertas esquinas existen tiempos muertos del flujo del agua muy variables, al permanecer el agua inmóvil genera

que se sedimenten lodos, lo cual pierde el sentido el proceso de floculación. Por lo tanto se recomienda redondear o curvar estas esquinas con un radio entre 0.75 y 1 metro.

25. La planta de tratamientos de agua tiene varios riesgos y peligros los cuales no son tratados. Dentro de estos existe la manipulación de sustancias químicas, como lo es el sulfato de aluminio, para el cual no se toman las medidas adecuadas con respecto a su manipulación y limpieza. Los operarios no utilizan la indumentaria adecuada como gafas protectoras, guantes y mascarilla. Por otro lado existen tuberías y bridas de retención corroídas las cuales pueden colapsar en cualquier momento.
26. Existen varios artículos y objetos los cuales no son utilizados en la planta. Por lo tanto se logró descartar 21 artículos innecesarios y conservar 10 artículos con la propuesta de mejora continua realizada en el proyecto. Con su implementación se lograrían mejorar varios aspectos de la planta, dentro de ellos la eliminación de innecesarios, áreas más ordenadas, mayor espacio de trabajo, evitar pérdidas de tiempo en búsqueda de objetos y evitar accidentes.
27. Se determinó el costo de limpieza de los tanques de sedimentación en Q 1, 083,905.71 anuales, lo que representa en promedio un costo de Q 90,325.48 mensuales con en análisis realizado de costos de limpieza en sedimentadores. Por lo tanto se propone la realización de la planta de secado de lodos para retornar el agua perdida y utilizada durante el proceso de limpieza en los tanques de sedimentación, recuperando los lodos para su tratamiento y con ello se reducirían estos costos de limpieza.
28. La propuesta evaluada de la planta de secados de lodos es rentable al momento de darle a los lodos un enfoque comercial, dado a que la tasa interna de retorno de 21.99% de los flujos de efectivo proyectados, es mayor a la tasa mínima atractiva de rendimiento del 16%. Por medio del método del valor presente neto, se obtuvo un valor de Q1,651,110.86, lo cual es rentable. El tiempo de recuperación de la inversión sería luego de su implementación y comercialización, entre los años 5 y 6.
29. Si el enfoque dado es únicamente para jardinería, en donde los lodos se utilizarían como un complemento del 10%, el beneficio sería para Parques y Áreas Verdes con respecto a un beneficio del 10% en sus gastos de fertilizante anual, el cual sería de Q 5,256.10, lo cual representaría un gasto de Q36.70 anuales para la planta de secado de lodos, pero la inversión realizada no se recuperaría. Por lo tanto el enfoque debe ser comercial para la

planta de secado de lodos y para jardinería se realizaría la donación del 10% (476.27 kg) de lodos tratados como complemento.

30. La variable más sensible al cambio de las evaluadas, en el análisis de sensibilidad, fue la inflación seguido los costos de distribución, los cuales pueden ser manejados por medio de relaciones comerciales, o con la compra de un vehículo para su distribución.
31. Al momento de que EMPAGUA implemente la propuesta evaluada, incrementará su utilidad, dado a que tendrá un beneficio de los lodos tratados y del agua recuperada de los tanques de sedimentación, por el proceso realizado.
32. El esfuerzo realizado por EMPAGUA en cuanto a la parte educacional dará mejores resultados en la medida que la preparación que los estudiantes lleven previo a la visita sea mayor. Esta preparación involucra conocimientos en cuanto al recurso natural del agua, sus usos, daños y modificaciones que el hombre ha creado para su consumo. Así también una explicación más detallada de la planta para que los participantes entiendan y aprecien el invento de una planta artificial que purifica lo que los humanos contaminamos diariamente. Los temas a conocer se definen en el Currículum Nacional Base para los grados correspondientes según las edades y etapas evolutivas del niño/niña.
33. Resultados importantes de los participantes se evidencian en acciones positivas que ellos realicen posterior a la actividad. Estas acciones se potencian cuando en el proceso de aprendizaje se generan aprendizajes significativos. Un aprendizaje significativo en cuanto al cuidado y la conservación del agua provocan acciones positivas en los estudiantes que conocen y valoran el proceso de purificación del agua; esto a través de espacios de reflexión y auto evaluación que confirmen las nuevas ideas.
34. El proceso de adquisición de nuevos aprendizajes es favorable cuando se parte de las teorías que cada alumno tiene en su intelecto, las cuestiona y las modifica a través de un buen proceso de enseñanza. En estas actividades es mayor el impacto cuando el guía se adapta al contexto de los estudiantes y enseña a través de sus experiencias.
35. La nueva propuesta educativa ofrece un programa para estudiantes de cualquier grupo social que tenga acceso a una computadora e Internet y realice las actividades de aprendizaje que el sitio web ofrece. Las actividades incluyen recursos didácticos y herramientas multimedia así como espacios de análisis, creación y evaluación. Se ofrece la versión impresa que no limita el contar con una computadora e Internet.

36. Las edades de los estudiantes que participan en la actividad es un factor importante a tomar en cuenta. A partir de los 12 años en adelante ellos son capaces de pensar en forma lógica y razonar. Pueden resolver problemas hipotéticos y comienzan a deducir consecuencias. Una mejor concientización en el cuidado del agua y disminución en la contaminación requieren del estudiante la capacidad de razonar de forma lógica.

XII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar mayor cantidad de análisis de composición de los lodos a fin de determinar la composición estándar de los mismos y observar si se tienen cambios en la composición según la temporada, para conocer las proporciones de nutrientes necesarios para la tierra. Si se instala el proceso de tratamiento de lodos propuesto por el Megaproyecto, "Manejo de desechos sólidos residuales del tratamiento de agua en la planta 'Lo de Coy' de EMPAGUA", se recomienda instalar un laboratorio de análisis de composición de lodos en la planta a fin de determinar la composición exacta de cada lote de lodos que se produce.
2. Realizar un tratamiento de las paredes y el suelo de los tanques de sedimentación a fin de que la superficie sea impermeable y la adhesión de los lodos a la superficie sea la menor posible, para así reducir la cantidad de agua y tiempo que se utiliza en el lavado de las paredes.
3. Hacer estudio del comportamiento de diversos materiales que sean aislantes superficiales a fin de elegir el que tenga las propiedades físicas más adecuadas para el proceso, que evite la adhesión de lodos, y que sea accesible económicamente.
4. Realizar un proceso de estandarización y optimización de lavado de tanques, a fin de que el uso de las mangueras de lavado sea el más adecuado posible y que permita el menor uso de agua. Se recomienda evaluar el uso de boquillas para las mangueras utilizadas actualmente para ver si al entregar éstas mayor presión la movilización de los lodos se realiza de una manera más eficiente.
5. Desarrollar un estudio local de tiempos necesarios para secar los sólidos residuales por medio de un patio solar, para lograr obtener las razones de cambio de humedad respecto al tiempo en las condiciones a las cuales se manejará el proceso y de esta forma conocer en cuanto tiempo se secarán los sólidos en la planta de tratamiento de agua "Lo De Coy".
6. Realizar un estudio topográfico de la planta para conocer las elevaciones en donde se desarrollarían las operaciones del proceso y corroborar que la planta de tratamiento de sólidos residuales se encuentre en un nivel lo suficientemente bajo para que se logre un flujo por gravedad. Si no se logrará, evaluar crear el sistema de filtro de banda en un nivel

inferior realizando un movimiento de tierras o instalar una bomba que logre transportar el flujo hacia dicho filtro.

7. Establecer un proceso de lavado en el que se mantenga un procedimiento estandarizado y de esta forma poder disminuir las variaciones de la cantidad de agua que pueden ingresar a la planta de tratamiento de sólidos residuales.
8. Realizar un estudio de tiempos y caracterización del agua al momento del drenaje de los tanques para conocer de mejor forma los flujos en este proceso y la cantidad de lodos que se desechan.
9. Realizar un estudio de la base para la implementación del filtro de banda. Éste servirá para poder recibir el flujo de agua y permitir un soporte del filtro para que logre operar en las condiciones necesarias.
10. Realizar pruebas con los tornillos transportadores para verificar que la dosificación de cal se logre dar de forma óptima y se logre obtener una mezcla homogénea y se logre alcanzar el pH de 12.
11. Estudiar la posibilidad de implementar el sistema propuesto u otro tratamiento a largo plazo de los lodos, a fin de reutilizar toda el agua desechada y disponer correcta y legalmente de los sólidos residuales producidos.
12. Es necesario aumentar la capacidad de residencia del agua en floculación con más pantallas para soportar la capacidad de caudales mayores a 1,176 l/s (1.76 m³/s).
13. Evaluar la posibilidad de cambiar el diseño de los tanques de sedimentación a fin de reducir los puntos de acumulación de lodos y permitir que el drenaje de los mismos sea más fácil aprovechando el flujo natural de los mismos debido a la gravedad.
14. Rediseño en la sección de los floculadores con respecto a las esquinas muertas, dado que se producen sedimentos los cuales deben ser removidos después con la limpieza de los floculadores. Las esquinas deben tener un radio entre 0.75 y 1 metro para crear curvas y evitar las esquinas muertas donde el flujo de agua permanece inmóvil.
15. Optimizar el diseño de las palas manuales para la remoción manual de lodos a fin que éstas sean lo más livianas posible, para facilitarle su uso a los operadores y reducir el cansancio físico que su manejo pueda ocasionar al operador.

16. Se recomienda proveer del equipo necesario a los empleados, como gafas protectoras, mascarilla y guantes para evitar los riesgos encontrados en la planta con respecto a los riesgos químicos. Esto es debido a que si se tienen riesgos extremos las consecuencias pueden ser fatales.
17. Es de suma importancia y urge subcontratar otra empresa para realizar el tratamiento preventivo, dado que si no se invierte en esto, más adelante los efectos serán graves para la planta de tratamiento de aguas. Se deben realizar estos cambios lo más pronto posible dado a que EMPAGUA tiene visitas de varias escuelas y si sucede algún problema la imagen de la empresa se vería muy afectada.
18. Para una continuación como fase 2 del megaproyecto EMPAGUA, se recomienda la evaluación química de añadidos y nutrientes para ver si se puede competir con un producto similar a fertilizante, para conseguir un mayor beneficio y mayor cantidad de clientes interesados en el producto. Por lo tanto con mejores características de lodos tratados terminados se tendrá un nuevo enfoque de demanda el cual puede ser un mercado más competitivo, como lo es el de los fertilizantes.
19. Realización de un estudio detallado y profundo sobre el impacto que tiene el efecto de floculación con los filtros de la planta.
20. Se obligue a los centros educativos e interesados en asistir a la planta que preparen a los asistentes en temas relacionados al recurso del agua y sus procesos de purificación.
21. Utilizar la página web: <https://sites.google.com/site/aguateprotejo/> como un recurso educativo cargado de herramientas y saberes que promoverán un mayor aprendizaje del agua y sus procesos.
22. Incrementar la eficiencia de la planta de lo de coy, por medio de afinar los bordes de los floculadores y no dejar esquinas en donde se almacene flóculos y así lograr flujo más continuo.
23. Realizar pruebas con el filtro banda para asegurarnos que el flujo en el tornillo transportador es el calculado de 17.771 L/s.
24. Realizar pruebas con los tornillos transportadores para verificar que los flujos máxicos a manejar de lodo y cal sean los correctos, que se de un buen mezclado de cal con lodo y así asegurar el pH en 12 durante varios días.

25. Diseñar un sistema de transporte mecánico o neumático para el almacenamiento de cal en el silo.
26. Colocar unos raspadores en los transportadores de tornillos sin fin, para que no se atasque el lodo residual cuando es transportado y así impedir alguna reducción en la eficiencia del mismo.
27. Agregar a su material didáctico del programa el sitio web “AGuateProtejo” y el Manual escrito que serán entregados a responsables de la actividad.
28. Establecer rangos de edades de visitantes de 12 años en adelante para utilizar el sitio web y manual.
29. Solicitar a los encargados del grupo de asistentes un período de 2 a 3 semanas para activar conocimientos previos relacionados con el cuidado y la conservación del agua.
30. Requerir una retroalimentación de la actividad posterior a la visita.
31. Establecer como requisito de participación a un nuevo grupo del mismo establecimiento educativo la garantía de que el grupo anterior cumplió con los requisitos establecidos.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. 2003. *Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos*. México.
- Allen, David T. & Shonnard, David R. 2002. *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- CAPAC. 2010. *Tratamiento y disposición de lodos*. Recuperado el 26 de Mayo de 2012, de http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO21.pdf
- Chapoñán D, C. 2009. *¿Cómo elaborar un Tríptico?*. Disponible en: <http://cesareducomunicador.blogspot.com/2009/05/como-elaborar-un-triptico.html> Consultado en Junio de 2012.
- Chen, G. Yue, P. Mujumdar, A. *Handbook of industrial drying: Dewatering and drying of wastewater treatment sludge*. Taylor & Francis group. 2006. 1282p
- Cheremisinoff, N. *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann. Estados Unidos. 2002. 594pp
- CONAGUA. 2006. *Acciones para Ahorrar Agua*. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Recomendaciones_para_ahorrar_agua.pdf Consultado en Junio de 2012.
- Cook, E. y DuMont, H. *Process drying practice*. Única edición. McGraw-Hill. Estados Unidos. 1991. 256pp.
- Cooke, P. 2008. *ABS Consulting group company*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2012, de <http://www.absconsulting.com/thesis/thesis-methodology.cfm>
- *Currículum Nacional Base*. 2007. Disponible en: http://www.mineduc.gob.gt/DIGECUR/?p=CNB.asp&t=Curriculo_Nacional_Base_CNB Consultado en Junio de 2012.
- Davis, Mackenzie L. 2010. *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. McGraw-Hill. Libro digital.
- *Definición Hidrósfera*. Disponible en: <http://conceptodefinicion.de/hidrosfera/> Consultado en Junio de 2012.
- ECODES. 2011. *Consumo responsable*. Disponible en: http://www.consumoresponsable.org/actua/agua/agua_consejos_hogar Consultado en Junio de 2012.

- *Educación Ambiental*. Disponible en: http://www.marn.gov.gt/sub/portal_educacion_ambiental/index.html Consultado en Junio, 2012
- Ekong, Faith; Jacob, Atser; Uyanga, Peter. 2011. *Pollution Levels of Coastal Water Resources and the Socio-economic Effects on Iko Communities in Akwa Ibom State*. The Journal of Human Ecology, 33(1): 41-46. Obtenido de: <http://www.krepublishers.com/02-Journals/JHE/JHE-33-0-000-11-Web/JHE-33-1-000-11-Abst-PDF/JHE-33-1-041-11-2095-Ekong-F/JHE-33-1-041-11-2095-Ekong-F-Tt.pdf>
- Environment Canada. 2009. *Phosphorus in Canada's Aquatic Ecosystems*. Documento obtenido de: <http://www.ec.gc.ca/eadouce-freshwater/0A77A85E-8D6C-4E08-8DDA-318B79260D7F/NutrientsENG.pdf>
- Environment Canada. 2010. *Priority Substances List Assessment Report: Follow-up to the State of Science Report, 2000*. Documento obtenido de: <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=491F0099-1>
- Environmental Protection Agency (EPA). 1991. R.E.D. *Facts: Silicon Dioxide and Silica Gel*. Documento obtenido de: <http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/factsheets/4081fact.pdf>
- Fuentes Gómez, Marcelo M. 2006. *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Argentina: Brujas
- García, N. 2006. *Lodos residuales: Estabilización y manejo*. Recuperado el 28 de Mayo de 2012, de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf
- Gobierno de Guatemala. 2002. *Constitución Política de la República de Guatemala*. Disponible en: http://www.tse.org.gt/descargas/Constitucion_Politica_de_la_Republica_de_Guatemala.a.pdf Consultado en octubre, 2012.
- Guatemala. Congreso de la República de Guatemala. 1986. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Decreto No. 68-86*. Documento obtenido de: <http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/energia/legislacion/Ley%20de%20proteccion%20y%20mejoramiento%20del%20medio%20ambiente.pdf>
- Guatemala. Presidencia de la República. 2006. *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.
- Gutiérrez Aranzeta. 2005. *Introducción a la Metodología Experimental*. México: Editorial Limusa. Méndez, Zayra. 2010. *Aprendizaje y Cognición*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.

- Idoneos. 1999. *La teoría del aprendizaje significativo*. Disponible en: <http://ausubel.idoneos.com/>. Consultado en Agosto de 2012.
- INFOAGRO. 2010. *Herbáceos Extensivos, maíz, arroz y trigo*. Infoagro, 1, 2.
- Juan A. Marin García, T. B. 2008. *Análisis de programas de mejora continua*. Un estudio longitudinal en una empresa industrial. Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2008000300002&script=sci_arttext
- Liu, David H.F. & Lipták, Béla G. 1999. *Environmental Engineers' Handbook*. (2da ed). Estados Unidos: CRC Press LLC.
- Luis Tovar. *Usos de la computadora en la escuela*. Disponible en: <http://www.suite101.net/content/la-computadora-en-el-salon-de-clases-a12702>
Consultado el: 21 de septiembre de 2010
- María Vidal. *Tecnología educativa, medios y recursos de enseñanza-aprendizaje*. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ems/vol22_4_08/ems10408.htm Consultado el: 21 de septiembre de 2010
- McCabe, W. Smith, J., Harrior, P. 1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4ta edición. McGraw-Hill. Estados Unidos. 1121pp.
- Meister, Richard T. et. al. 2001. *Farm Chemicals Handbook*. (Volumen 87). Estados Unidos: Meister Publishing Company.
- *Métodos para purificar el agua*. Disponible en: <http://www.agua10.com/amplianoticia.asp?cod=79> Consultado en Octubre de 2012.
- Mijangos, Andrea. *Métodos de enseñanza*. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/metodos-ensenanza/metodos-ensenanza.shtml>
Consultado el: 3 de junio de 2011.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. 2010. *Agua*. El Universo de Leo. Guatemala: El Universo de Leo. Prensa Libre, Guatemala. Disponible en: <http://www.leopl.com/ciencias-naturales/2851/agua> Consultado en Junio, 2012.
- Ministerio de Agricultura, ganadería y alimentación (MAGA). 2001. *Plan de Manejo: Subcuenca de los Ríos Xayá-Pixcayá Guatemala*. Obtenido de: http://portal.maga.gob.gt/portal/page/portal/uee_cuencas/documentos/XayaPixcaya.pdf.
- Morales, L. 2008. *Capítulo IV Lodos*. Recuperado el 28 de Mayo de 2012, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo4.pdf
- Mujumdar, A. *Handbook of industrial drying: Principles, classification, and selection of dryers*. Taylor & Francis group. 2006. 1282p MUNI GUATE. 2007. Tratamiento de las

aguas. Disponible en:
<http://mu.muniguate.com/index.php/component/content/article/40-empagua/51-purificacionagua> Consultado en Junio de 2012.

- MUNI GUATE. 2006. *El largo recorrido del agua a su casa*. Planta de agua: Lo de Coy. Disponible en: <http://www.muniguate.com/index.php/empagua/25-temas/80-xaya> Consultado en Junio, 2012.
- MUNI GUATE. 2007. *¿Cómo reducir agua?* Disponible en: <http://www.muniguate.com/index.php/sbasicos/105-reducircantidaddeconsumodeagua> Consultado en Junio de 2012.
- Municipalidad de Guatemala. 2004. *Sistema Xayá-Pixcayá y Planta de Tratamiento Lo De Coy*. Obtenido de: <http://www.muniguate.com/index.php/component/content/article/25-temas/5135-sistema-xaya-pixcaya>
- Niebel, B. W. 2004. *Ingeniería Industrial: Métodos estándares y diseño del trabajo*. 11va Edición ed. Grupo Editor, S.A.
- O'Neil, Maryadele J. et al. 2006. *The Merck Index*. (14va ed). Estados Unidos: Merck & Co, Inc.
- Pablo, L. 2012. *Las arcillas, clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales*. Recuperado el 29 de Mayo de 2012, de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca03/de-pablo.pdf>
- Perry, Robert H. et al. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7ma edición. McGraw-Hill. Estados Unidos. 1997.
- Pescod, M.B. 1992. *Wastewater treatment and use in agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Corporate Document Repository. Obtenido de: <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm#3.wastewatertreatment>
- Pomés, L. 2010. *Mupi y Opi*. Leopoldo Pomés. Disponible en: <http://publicitado.com/mupi-opi/> Consultado en Junio de 2012.
- Reichardt, CH.S. 2005. *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Madrid, España: Ediciones Morata.
- Robles, A. 2006. *Estabilización de lodos de desecho de plantas de tratamiento*. Recuperado el 29 de Mayo de 2012, de http://proyectos.iingen.unam.mx/Proyectos_2005_2006/07/7.3.3.pdf
- Rosas, J. 2007. Recuperado el 30 de Mayo de 2012, de http://www.paritarios.cl/especial_las_5s.htm

- Rossi, Rodríguez y otros. *Importancia de la tecnología en la educación*. Disponible en: <http://tecnologiaeducativaunefam2.blogspot.com/2008/03/importancia-de-la-tecnologa-de-la.html> Consultado el: 21 de septiembre de 2010
- Savaris, C. 2006. *Consejos para anuncios publicitarios*. Disponible en: <http://www.promonegocios.net/publicidad/anuncios-publicitarios.html> Consultado en Junio de 2012.
- Señoret, L. 2010. *Manejo de Lodos*. Recuperado el 25 de Mayo de 2012, de <http://www.slideshare.net/lucasburchard/manejo-de-lodos>
- Skoog, Douglas A., Donald, West. 2005. *Fundamentos de Química Analítica*. Thomson. Octava Edición. México. 930pp
- Szantó, M. 2010. *Determinación de los límites de atterberg*. Chile: Escuela de Ingeniería en Construcción.
- Terzaghi K., P. R. 1973. *Mécanica de Suelos*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Treybal, R. 1988. *Operaciones de Transferencia de Masa*. 2da edición. McGraw-Hill. México. 845pp.
- Turovskiy, Izrail S. & Mathai, P.K. 2006. *Wastewater Sludge Processing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- USAID. 2007. *Estándares educativos de Guatemala*; Ministerio de Educación. Guatemala: El Ministerio.
- Utvik, A. *Sludge treatment and disposal: Drying*. Environmental issues series. No. 7. European environment agency. 1997. 53pp
- Van Hoof, Bart. et al. 2008. *Producción más Limpia: Paradigma de Gestión Ambiental*. (1era ed). México: Alfaomega.
- Varios autoras. *Manual de ingeniería de las bandas transportadoras*. Intralox, Laitram, LLC. 2012.
- Vuori, Kari-Matti. 1995. *Direct and indirect effects of iron on river ecosystems*. Annales Zoologici Fennici, Vol. 32, págs 317-329.
- Woolfolk, A. (1996). *Psicología educativa*; 6ta ed. Estados Unidos, Prentice Hall. 665 págs.
- 2011. *Importancia del agua*. Grandes temas de la naturaleza. Periódico Prensa Libre [Guatemala]. Pág. 21.

XIV. APÉNDICE

A. Datos originales

1. Determinación de los estudios de tiempo en el proceso de floculación.

Tabla No. 82. Caudal de entrada principal en verano.

Número de observación	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m ³ /s]
1	39.38	15.7	0.40	39.87	1.14
2	33.37	15.7	0.47	47.05	1.34
3	52.28	15.7	0.30	30.03	0.86
4	45.55	15.7	0.34	34.47	0.98
5	48.8	15.7	0.32	32.17	0.92
6	33.85	15.7	0.46	46.38	1.32
7	31.87	15.7	0.49	49.26	1.40
8	37.34	15.7	0.42	42.05	1.20
9	37.14	15.7	0.42	42.27	1.20
10	42.98	15.7	0.37	36.53	1.04
11	33.42	15.7	0.47	46.98	1.34
12	36.24	15.7	0.43	43.32	1.23
13	36.4	15.7	0.43	43.13	1.23
14	38.14	15.7	0.41	41.16	1.17
15	37.28	15.7	0.42	42.11	1.20
16	36.75	15.7	0.43	42.72	1.22
17	38.68	15.7	0.41	40.59	1.16
18	36.14	15.7	0.43	43.44	1.24
19	36.42	15.7	0.43	43.11	1.23
20	36.5	15.7	0.43	43.01	1.23
21	44.26	15.7	0.35	35.47	1.01
22	45.47	15.7	0.35	34.53	0.98
23	39.29	15.7	0.40	39.96	1.14
24	42.85	15.7	0.37	36.64	1.04
25	38.35	15.7	0.41	40.94	1.17
26	36.98	15.7	0.42	42.46	1.21
Promedio	39.07	15.7	0.41	40.76	1.16

Caudal en m³/s 1.16

Caudal en Litros 1161.55

Caudal Teórico (m³/s): 1.176

Caudal Teórico (l/s): 1176

Tabla No. 83. Tiempos de retención en los floculadores para la época de verano.

Número de observación	Primer tramo [min]	Segundo tramo [min]	TOTAL
1	10.12	11.07	21.19
2	9.15	10.07	19.22
3	11.45	11.14	22.59
4	11.30	11.08	22.38
5	10.53	10.26	20.79
6	9.25	10.25	19.50
7	11.52	11.24	22.76
8	9.55	11.26	20.81
9	9.93	11.42	21.35
10	10.75	11.24	21.99
PROMEDIO	10.36	10.90	21.26

Tabla No. 84. Tiempos de retención en los floculadores para la época lluviosa.

Número de observación	Primer tramo [min]	Segundo tramo [min]	TOTAL
1	9.17	7.38	16.55
2	11.12	5.27	16.39
3	8.54	7.91	16.45
4	8.19	11.99	20.18
5	9.51	10.56	20.07
6	7.56	9.88	17.44
7	9.07	9.23	18.3
8	7.27	8.21	15.48
9	8.12	7.14	15.26
10	7.4	8.95	16.35
PROMEDIO	8.60	8.65	17.25

Tabla No. 85. Estudio de tiempos primer tramo floculadores.

CAUDAL TEÓRICO INVIERNO		
	Litros / s	m ³ /s
PRINCIPAL	1586	1.59
FLOCULADORES	528	0.53

Turbiedad	Unidades
Inicio	65
Fin floculadores	75.3

Número de observación	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m ³ /s]
1	12.72	3.54	0.28	27.83	0.24
2	9.04	3.54	0.39	39.16	0.33
3	10.36	3.54	0.34	34.17	0.29
4	8.31	3.54	0.43	42.60	0.36
5	9.53	3.54	0.37	37.15	0.32
6	9.79	3.54	0.36	36.16	0.31
7	8.8	3.54	0.40	40.23	0.34
8	9.23	3.54	0.38	38.35	0.33
9	9.62	3.54	0.37	36.80	0.31
10	9.26	3.54	0.38	38.23	0.33
11	7.3	3.54	0.48	48.49	0.41
12	10.13	3.54	0.35	34.95	0.30
13	11.99	3.54	0.30	29.52	0.25
14	9.38	3.54	0.38	37.74	0.32
15	10.56	3.54	0.34	33.52	0.29
16	9.22	3.54	0.38	38.39	0.33
17	8.44	3.54	0.42	41.94	0.36
18	6.45	3.54	0.55	54.88	0.47
19	6.78	3.54	0.52	52.21	0.44
20	9.76	3.54	0.36	36.27	0.31
21	10.38	3.54	0.34	34.10	0.29
22	6.79	3.54	0.52	52.14	0.44
23	7.85	3.54	0.45	45.10	0.38
24	8.78	3.54	0.40	40.32	0.34
25	6.77	3.54	0.52	52.29	0.44
26	8.3	3.54	0.43	42.65	0.36
27	10.06	3.54	0.35	35.19	0.30
28	10.05	3.54	0.35	35.22	0.30
29	12.14	3.54	0.29	29.16	0.25
30	10.45	3.54	0.34	33.88	0.29
31	7.3	3.54	0.48	48.49	0.41
32	10.21	3.54	0.35	34.67	0.30
33	12.57	3.54	0.28	28.16	0.24
PROMEDIO	9.34	3.54	0.39	39.09	0.33

Caudal [m ³ /s]	0.33
Caudal [L/s]	332.66

Tabla No. 86. Estudio de tiempos, segundo tramo en floculadores.

Número de observación	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m3/s]
1	42.16	3.54	0.08	8.40	0.19
2	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
3	40.16	3.54	0.09	8.81	0.20
4	50.12	3.54	0.07	7.06	0.16
5	27.13	3.54	0.13	13.05	0.30
6	45.52	3.54	0.08	7.78	0.18
7	36.87	3.54	0.10	9.60	0.22
8	49.18	3.54	0.07	7.20	0.16
9	25.26	3.54	0.14	14.01	0.32
10	41.23	3.54	0.09	8.59	0.20
11	48.35	3.54	0.07	7.32	0.17
12	41.12	3.54	0.09	8.61	0.20
13	51.15	3.54	0.07	6.92	0.16
14	44.21	3.54	0.08	8.01	0.18
15	40.23	3.54	0.09	8.80	0.20
16	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
17	44.26	3.54	0.08	8.00	0.18
18	35.47	3.54	0.10	9.98	0.23
19	44.28	3.54	0.08	7.99	0.18
20	42.13	3.54	0.08	8.40	0.19
21	38.52	3.54	0.09	9.19	0.21
22	41.36	3.54	0.09	8.56	0.19
23	29.1	3.54	0.12	12.16	0.28
24	43.17	3.54	0.08	8.20	0.19
25	40.13	3.54	0.09	8.82	0.20
26	41.2	3.54	0.09	8.59	0.20
27	41.05	3.54	0.09	8.62	0.20
28	35.44	3.54	0.10	9.99	0.23
29	42.24	3.54	0.08	8.38	0.19
30	52.15	3.54	0.07	6.79	0.15
31	37.52	3.54	0.09	9.43	0.21
32	48.31	3.54	0.07	7.33	0.17
33	36.15	3.54	0.10	9.79	0.22
PROMEDIO	40.95	3.54	0.09	8.88	0.20

Caudal [m3/s]	0.20
Caudal [L/s]	202.02

Por lo que se logró determinar que hay un menor tiempo de residencia del agua, hay una sobrecarga para la capacidad de la planta dado que se está introduciendo un mayor caudal al permitido y por ello dentro de los floculadores el tiempo de residencia del agua es menor y existe sedimentación en ciertas esquinas de los floculadores.

Tabla No. 87. Especificaciones de los floculadores y caudal que manejan de salida.

Altura del agua [m]	1.85
Ancho [m]	1.23
Área transversal [m²]	2.28
<u>Distancias medidas</u>	
Sección 1	1.77
Sección 2	1.77
Distancia total [m]	3.54

Caudal total [L/s]	534.67
Caudal total [m ³ /s]	0.53

El caudal total fue calculado al sumar el caudal del primer tramo con el caudal del segundo tramo. El caudal es obtenido al multiplicar el área transversal con la velocidad promedio.

2. Determinación de la curva de secado para los sólidos residuales.

Tabla No. 88. Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 7 de junio 2012.

Tiempo [min]		Masa lodo y bandeja								
		Bandeja 1			Bandeja 2			Bandeja 3		
0.00	± 0.01	0.8294	± 0.0001	0.8579	± 0.0001	0.8268	± 0.0001			
10.00	± 0.01	0.8104	± 0.0001	0.8504	± 0.0001	0.8195	± 0.0001			
20.00	± 0.01	0.7806	± 0.0001	0.8360	± 0.0001	0.8071	± 0.0001			
30.00	± 0.01	0.7560	± 0.0001	0.8190	± 0.0001	0.7919	± 0.0001			
60.00	± 0.01	0.6729	± 0.0001	0.7650	± 0.0001	0.7452	± 0.0001			
90.00	± 0.01	0.5921	± 0.0001	0.7037	± 0.0001	0.6939	± 0.0001			
121.00	± 0.01	0.5046	± 0.0001	0.6396	± 0.0001	0.6407	± 0.0001			
151.00	± 0.01	0.4441	± 0.0001	0.5808	± 0.0001	0.5920	± 0.0001			
182.00	± 0.01	0.3983	± 0.0001	0.5204	± 0.0001	0.5416	± 0.0001			
212.00	± 0.01	0.3765	± 0.0001	0.4720	± 0.0001	0.4525	± 0.0001			
242.00	± 0.01	0.3593	± 0.0001	0.3981	± 0.0001	0.4159	± 0.0001			
272.00	± 0.01	0.3498	± 0.0001	0.3755	± 0.0001	0.3842	± 0.0001			
287.00	± 0.01	0.3492	± 0.0001	0.3713	± 0.0001	0.3656	± 0.0001			
302.00	± 0.01	0.3487	± 0.0001	0.3612	± 0.0001	0.3576	± 0.0001			
318.00	± 0.01	0.3486	± 0.0001	0.3578	± 0.0001	0.3528	± 0.0001			
328.00	± 0.01	0.3484	± 0.0001	0.3571	± 0.0001	0.3521	± 0.0001			
333.00	± 0.01	0.3484	± 0.0001	0.3571	± 0.0001	0.3519	± 0.0001			

Tabla No. 89. Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 12 de junio 2012.

			Masa lodo								
Tiempo [min]			Bandeja 1			Bandeja 2			Bandeja 3		
0.00	±	0.01	0.8139	±	0.0001	0.7723	±	0.0001	0.9433	±	0.0001
12.00	±	0.01	0.8036	±	0.0001	0.7694	±	0.0001	0.9353	±	0.0001
20.00	±	0.01	0.7969	±	0.0001	0.7604	±	0.0001	0.9231	±	0.0001
30.00	±	0.01	0.7879	±	0.0001	0.7512	±	0.0001	0.9059	±	0.0001
60.00	±	0.01	0.7554	±	0.0001	0.7114	±	0.0001	0.8451	±	0.0001
90.00	±	0.01	0.7128	±	0.0001	0.6576	±	0.0001	0.7604	±	0.0001
120.00	±	0.01	0.6732	±	0.0001	0.6147	±	0.0001	0.6890	±	0.0001
150.00	±	0.01	0.6277	±	0.0001	0.5602	±	0.0001	0.6075	±	0.0001
180.00	±	0.01	0.5829	±	0.0001	0.5099	±	0.0001	0.5314	±	0.0001
210.00	±	0.01	0.5330	±	0.0001	0.4550	±	0.0001	0.4587	±	0.0001
240.00	±	0.01	0.4843	±	0.0001	0.4141	±	0.0001	0.4053	±	0.0001
270.00	±	0.01	0.4351	±	0.0001	0.3746	±	0.0001	0.3819	±	0.0001
300.00	±	0.01	0.3960	±	0.0001	0.3548	±	0.0001	0.3818	±	0.0001
330.00	±	0.01	0.3669	±	0.0001	0.3437	±	0.0001	0.3811	±	0.0001
340.00	±	0.01	0.3591	±	0.0001	0.3401	±	0.0001	0.3811	±	0.0001
350.00	±	0.01	0.3554	±	0.0001	0.3401	±	0.0001	0.3811	±	0.0001
360.00	±	0.01	0.3530	±	0.0001	0.3401	±	0.0001	0.3811	±	0.0001

Tabla No. 90. Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 20 de junio 2012.

			Masa lodo								
Tiempo [min]			Bandeja 1			Bandeja 2			Bandeja 3		
0.00	±	0.01	0.8852	±	0.0001	0.7944	±	0.0001	0.8640	±	0.0001
10.00	±	0.01	0.8718	±	0.0001	0.7834	±	0.0001	0.8544	±	0.0001
20.00	±	0.01	0.8602	±	0.0001	0.7742	±	0.0001	0.8476	±	0.0001
30.00	±	0.01	0.8417	±	0.0001	0.7628	±	0.0001	0.8386	±	0.0001
60.00	±	0.01	0.7821	±	0.0001	0.7189	±	0.0001	0.7862	±	0.0001
90.00	±	0.01	0.7156	±	0.0001	0.6611	±	0.0001	0.7397	±	0.0001
120.00	±	0.01	0.6485	±	0.0001	0.6104	±	0.0001	0.6917	±	0.0001
150.00	±	0.01	0.5744	±	0.0001	0.5550	±	0.0001	0.6403	±	0.0001
180.00	±	0.01	0.5026	±	0.0001	0.5013	±	0.0001	0.5923	±	0.0001
210.00	±	0.01	0.4401	±	0.0001	0.4519	±	0.0001	0.5467	±	0.0001
240.00	±	0.01	0.4063	±	0.0001	0.4034	±	0.0001	0.4951	±	0.0001
270.00	±	0.01	0.3657	±	0.0001	0.3568	±	0.0001	0.4479	±	0.0001
300.00	±	0.01	0.3360	±	0.0001	0.3240	±	0.0001	0.4012	±	0.0001
330.00	±	0.01	0.3198	±	0.0001	0.3020	±	0.0001	0.3610	±	0.0001
360.00	±	0.01	0.3178	±	0.0001	0.2926	±	0.0001	0.3275	±	0.0001
390.00	±	0.01	0.3176	±	0.0001	0.2922	±	0.0001	0.3115	±	0.0001
400.00	±	0.01	0.3174	±	0.0001	0.2921	±	0.0001	0.3088	±	0.0001

Tabla No. 91. Valores de la masa de lodo y bandeja en función del tiempo para la experimentación el 25 de junio 2012.

			Masa lodo								
Tiempo [min]			Bandeja 1			Bandeja 2			Bandeja 3		
0.00	±	0.01	0.9326	±	0.0001	0.8550	±	0.0001	1.0017	±	0.0001
12.00	±	0.01	0.9217	±	0.0001	0.8473	±	0.0001	0.9952	±	0.0001
20.00	±	0.01	0.9025	±	0.0001	0.8337	±	0.0001	0.9839	±	0.0001
30.00	±	0.01	0.8812	±	0.0001	0.8185	±	0.0001	0.9725	±	0.0001
60.00	±	0.01	0.8093	±	0.0001	0.7647	±	0.0001	0.9244	±	0.0001
90.00	±	0.01	0.7473	±	0.0001	0.7179	±	0.0001	0.8825	±	0.0001
120.00	±	0.01	0.6783	±	0.0001	0.6649	±	0.0001	0.8333	±	0.0001
150.00	±	0.01	0.6109	±	0.0001	0.6128	±	0.0001	0.7852	±	0.0001
180.00	±	0.01	0.5451	±	0.0001	0.5604	±	0.0001	0.7370	±	0.0001
210.00	±	0.01	0.4885	±	0.0001	0.5100	±	0.0001	0.6874	±	0.0001
240.00	±	0.01	0.4461	±	0.0001	0.4618	±	0.0001	0.6312	±	0.0001
270.00	±	0.01	0.4249	±	0.0001	0.4289	±	0.0001	0.5870	±	0.0001
300.00	±	0.01	0.4125	±	0.0001	0.4010	±	0.0001	0.5399	±	0.0001
330.00	±	0.01	0.4089	±	0.0001	0.3852	±	0.0001	0.4966	±	0.0001
360.00	±	0.01	0.4075	±	0.0001	0.3795	±	0.0001	0.4642	±	0.0001
390.00	±	0.01	0.4073	±	0.0001	0.3788	±	0.0001	0.4502	±	0.0001
410.00	±	0.01	-			-			0.4469	±	0.0001
420.00	±	0.01	-			-			0.4408	±	1.0001

3. Determinación de caudal de agua utilizada en el proceso de lavado de tanques.

Tabla No. 92. Tiempo y altura de llenado de un recipiente con agua proveniente de manguera conectada al chorro de agua.

Tiempo [± 0.01 s]	Altura [± 0.05 m]
2.87	0.330
3.88	0.515
3.96	0.535

Tabla No. 93. Tiempo y altura de llenado de un recipiente con agua proveniente de mangueras pequeñas a presión.

Tiempo [± 0.01 s]	Altura [± 0.05 m]
16.32	0.055
16.75	0.060
13.97	0.050

Tabla No. 94. Tiempo de uso de cada fuente de agua para el lavado de los lodos en cada tanque.

Fecha	No. de tanque	Tiempo de apertura [± 0.01 h]				
		Manguera con motor	Manguera de agua potable	Mangueras pequeñas	Válvula de abajo	Canaletas
19-Junio-2012	2	4.333	0.000	0.000	0.000	0.275
21-Junio-2012	4	3.250	2.250	1.690	0.217	0.000
19-Julio-2012	3	3.280	1.450	1.810	0.000	0.219
20-Julio-2012	4	3.720	2.280	1.480	0.000	0.102

Tabla No. 95. Información sobre las canaletas.

Diámetro de agujeros [± 0.01 m]	0.055
Número de agujeros	150
Espacio entre canaletas [± 0.01 m]	3.37
Largo de caída de agua [± 0.01 m]	1.123
Altura de caída de agua [± 0.01 m]	3.4

4. Determinación del volumen de lodo en los tanques de sedimentación.

Tabla No. 96. Datos de la distribución de altura de lodos en un tanque de sedimentación.

Metro del tanque	Altura de los lodos [± 0.01 m]	Metro del tanque	Altura de los lodos [± 0.01 m]
Esquina	0.290	29	1.300
1	0.290	30	1.330
2	0.290	31	1.460
3	0.335	32	1.480
4	0.420	33	1.480
5	0.430	34	1.500
6	0.480	35	1.540
7	0.490	36	1.870
8	0.550	37	1.890
9	0.590	38	1.720
10	0.620	39	1.740
11	0.690	40	1.750
12	0.690	41	1.780
13	0.620	42	1.900
14	0.730	43	2.000
15	0.760	44	2.000
16	0.770	45	2.100
17	0.700	46	2.100
18	0.770	47	2.050
19	0.780	48	2.05
20	0.820	49	2.00
21	0.900	50	1.95
22	0.950	51	1.92
23	0.990	52	1.86
24	1.000	53	1.71
25	1.060	54	1.59
26	1.140	55	1.42
27	1.200	56	1.10
28	1.210	Esquina	1.04

5. Cantidad de lavados por temporada en la planta "Lo De Coy".

Tabla No. 97. Cantidad de lavados por temporada por tanque y cantidad total de lavados anuales.

	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4
Cantidad de lavados en invierno	13	13	13	14
Cantidad de lavados en verano	9	9	9	8
Total de lavados anuales por tanque	22	22	22	22
Total de lavados anuales (4 tanques)	88			

6. Datos obtenidos en las pruebas de resistencia.

Tabla No. 98. Datos originales de las pruebas de resistencia.

Muestra	Peso [g]	Carga [lb]	Área [mm ²]
Lodo + Cemento 1	153.5	36.65	2332.9
Lodo + Cemento 2	148.9	32.985	2218.4
Lodo 1	126.6	53.509	1980.3
Lodo 2	126.8	62.305	1953.6

7. Siembra de cilantro y cantidad de semillas y tierra utilizadas.

Tabla No. 99. Número de semillas, peso de tierra y lodo utilizado para las muestras.

Descripción	# de Semillas de cilantro	Peso de tierra [g]	Peso de lodos [g]
Control	18	3,118.18	0
5% Lodo	18	2,962.27	155.91
10% Lodo	18	2,806.36	311.82

8. Datos para realizar las soluciones de lodo y cal.

Tabla No. 100. Peso de lodo y cal utilizados para las soluciones.

Descripción	Muestra	Peso [g]	Volumen aforado [mL]	Concentración [g/mL]
Lodo	1	44.0213	100	0.4402
	2	40.1567		0.4015
	3	42.0521		0.4205
Cal	1	4.1856	100	0.04186
	2	4.1856		
	3	4.1856		

9. Muestras iniciales del pH del lodo.

Tabla No. 101. pH inicial de las muestras de lodo diluidas en 100 mL.

Muestra	pH
1	6.70
2	6.82
3	6.67

10. Registro diario de la estabilización de lodo.

Tabla No. 102. Control diario del pH en cada muestra realizada.

Día	Muestra 1 [pH]	Muestra 2 [pH]	Muestra 3 [pH]
1	12.03	12.29	12.23
2	12.21	12.35	12.40
3	12.34	12.64	12.67
4	12.48	12.69	12.71
5	12.53	12.76	12.79
6	12.69	12.74	12.73
7	12.65	12.72	12.71
8	12.61	12.68	12.65
9	12.59	12.69	12.62
10	12.54	12.64	12.57
11	12.51	12.62	12.54
12	12.49	12.61	12.53
13	12.50	12.59	12.55
14	12.48	12.62	12.51
15	12.46	12.57	12.50
16	12.45	12.55	12.48
17	12.42	12.48	12.45
18	12.38	12.39	12.40
19	12.31	12.23	12.32
20	12.20	11.98	12.19
21	12.02	11.57	11.98
22	11.73	10.91	11.64
23	11.26	9.84	11.09

B. Cálculo de muestra

1. Cálculo de muestra para la determinación de la curva de rapidez de secado de los sólidos por medio de convección de aire caliente. Para facilidad de interpretación, todos los ejemplos de los cálculos realizados se harán sobre la bandeja no. 1 para el secado de sólidos

del 7 de junio del 2012, a excepción del cálculo 6 en donde es necesaria la curva de secado promedio.

Cálculo 1.1: Área de las bandejas utilizadas. Todas las bandejas eran iguales y sólo se utilizó el lado superficial para tener contacto con el aire.

$$A = ancho * largo$$

$$A = 0.26 \pm 0.005m * 0.29 \pm 0.005m$$

$$A = 0.0754 \pm 0.002m^2$$

Cálculo 1.2: Masa del sólido seco. Se determinó el porcentaje de humedad final en una balanza con esta función.

$$S_s = S_{Ln} * (1 - X_s)$$

$$S_s = 0.1549 \pm 0.0001 * (1 - 0.0872 \pm 0.0031)$$

$$S_s = 0.1425 \pm 0.0051 Kg$$

Cálculo 1.3: Porcentaje de humedad en la muestra de lodos. La humedad inicial se calculó en base a la masa seca.

$$H_L = \frac{Masa\ inicial - S_s}{masa\ inicial} * 100\%$$

$$H_L = \frac{0.6359 \pm 0.0001Kg - 0.1425 \pm 0.0051 Kg}{0.6359 \pm 0.0001Kg} * 100\%$$

$$H_L = 77.59 \pm 0.03\%$$

Las restantes, según una diferencia de masas conforme pasó el tiempo. El ejemplo se realizará para la segunda humedad (tiempo=10 min)

$$H_{L\ n} = H_{L\ n-1} - H_{L\ n-1} * \left(1 - \frac{m_n}{m_{n-1}}\right)$$

$$H_{L\ n} = 77.59 \pm 0.03\% - 77.59 \pm 0.03\% * \left(1 - \frac{0.6169 \pm 0.0001Kg}{0.6359 \pm 0.0001Kg}\right)$$

$$H_{L\ n} = 75.26 \pm 0.03\%$$

Cálculo 1.4: Determinación de la fracción másica. Se realizará para la primera humedad.

$$X = \frac{H_{Ln}}{1 - H_{Ln}}$$

$$X = \frac{77.59 \pm 0.03\%}{1 - 77.59 \pm 0.03\%}$$

$$X = 3.46 \pm 0.09 \frac{Kghumedad}{Kg lodo seco}$$

Cálculo 1.5: Determinación de la rapidez de secado. El ejemplo se realizará para el tiempo de 0 a 10 minutos.

$$N = -\frac{S_s \Delta X}{A \Delta \theta} \text{ Ec no. 7 (Treybal, 1988)}$$

$$N = -\frac{0.1425Kg * (0.6169 \pm 0.0001Kg - 0.6359 \pm 0.0001Kg)}{0.0754m^2(10 - 0)min}$$

$$N = 0.0036 \pm 0.0001 Kg/m^2min$$

Cálculo 1.6: Determinación del valor de rapidez de secado para la parte constante, en los valores promedio de todas las corridas.

Nota: Se tomaron los valores de la rapidez constante según la Gráfica No. no.1: Curva de rapidez de secado de los sólidos residuales

$$N_{cte} = \frac{\left(\begin{array}{l} 0.003369 \pm 0.001142 + 0.003584 \pm 0.000964 + 0.003579 \pm 0.001088 \\ +0.003595 \pm 0.000973 + 0.003418 \pm 0.000986 + 0.003358 \pm 0.001005 \end{array} \right)}{6} \frac{Kg}{min * m^2}$$

$$N_{cte} = 0.0035 \pm 0.0001 \frac{Kg}{min * m^2}$$

- Determinación del volumen de agua obtenida de la manguera de lavado conectada al chorro.

Cálculo 2.1: Determinación del volumen de agua obtenida de la manguera de lavado conectada al chorro.

El recipiente utilizado era un cilindro por lo que el volumen está dado por:

$$V = \pi r^2 h$$

El radio del recipiente utilizado es de: $0.25m$.

La altura de agua obtenida en la primera corrida fue de: $0.330 m$.

Por lo tanto el volumen de agua es de:

$$V = \pi (0.25 m)^2(0.330 m)$$

$$V = 0.065 \pm 0.057 m^3$$

Cálculo 2.1: Determinación del caudal de agua proveniente de la manguera de lavado conectada al chorro.

El tiempo transcurrido para llenar el recipiente con $0.065 m^3$ de agua, fue de 0.000797 horas, por lo que el caudal de agua fue de:

$$q = \frac{\text{volumen de agua}}{\text{tiempo transcurrido}}$$

$$q = \frac{0.065 \pm 0.057 m^3}{0.000797 \pm 0.01 h}$$

$$q = 81.28 \pm 0.815 m^3/h$$

Cálculo 2.2: Determinación del caudal promedio de la manguera de lavado conectada al chorro.

$$q_{PROMEDIO} = \frac{[(81.28 \pm 0.815) + (93.82 \pm 0.941) + (95.50 \pm 0.958)] m^3/h}{3}$$

$$q_{PROMEDIO} = 90.20 \pm 7.772 m^3/h$$

Cálculo 2.3: Determinación del caudal por una canaleta.

El diámetro de cada agujero de las canaletas es de 5.5 cm . Por lo que el área de cada agujero es:

$$A_{\text{agujero}} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_{\text{agujero}} = \frac{1}{4} \pi (0.055 m)^2$$

$$A_{\text{agujero}} = 0.00238 m^2$$

Se observó que el agua fluye en promedio por únicamente un tercio del área total de cada agujero, por lo que el área total por la cual fluye el agua es:

$$A_{real} = \frac{1}{3} A_{agujero}$$

$$A_{real} = \frac{1}{3} (0.00238 \text{ m}^2)$$

$$A_{real} = 0.00079 \text{ m}^2$$

El agua sale de las canaletas en un arco que puede ser simulado por un tiro parabólico, por lo que a partir de las ecuaciones de tiro parabólico se determina la velocidad inicial del agua.

Ecuaciones de tiro parabólico:

$$x = x_0 + v_0 t$$

$$y = y_0 + v_0 t + gt^2$$

Despejando para la velocidad inicial obtenemos:

$$v_0 = \sqrt{\frac{x^2 g}{y - x}}$$

En donde $x = 1.12 \text{ m}$ y $y = 3.4 \text{ m}$.

$$v_0 = \sqrt{\frac{(1.12 \pm 0.05 \text{ m})^2 (9.81 \text{ m/s}^2)}{(3.4 - 1.12) \pm 0.05 \text{ m}}}$$

$$v_0 = 2.33 \pm 0.0543 \text{ m/s}$$

El caudal de agua que fluye en cada agujero de las canaletas es:

$$q_{agujero} = A_{real} \cdot v_0$$

$$q_{agujero} = (0.00079 \text{ m}^2)(2.33 \text{ m/s})$$

$$q_{agujero} = 0.00185 \pm 0.0552 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal total que fluye por una canaleta (cada canaleta tiene 150 agujeros) es:

$$q_{canaleta} = 150 \cdot \frac{0.00185 \text{ m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$q_{canaleta} = 997.20 \pm 0.446 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo 2.4: Determinación del gasto de agua total por método de lavado utilizado.

El 21 de junio del 2012, se utilizó la manguera con agua proveniente del chorro por un total de 2.25 horas, por lo que el gasto total de agua fue:

$$\text{Agua utilizada} = \text{Tiempo} \times \text{Caudal promedio} = t \cdot q$$

$$\text{Agua utilizada} = (2.25 \pm 0.01 \text{ h})(90.20 \pm 7.772 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\text{Agua utilizada} = 202.59 \pm 0.0863 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.5: Determinación del área de la sección transversal de lodos dentro del tanque de sedimentación entre el metro 3 y el metro 4.

Altura de lodos en el metro 3 = 0.290 m.

Altura de lodos en el metro 4 = 0.335 m.

Con la finalidad de cubrir la mayor parte del área bajo la curva de la altura de lodos, se dividió el área en un rectángulo y un triángulo superior. Para calcular el rectángulo se tomó el valor de altura más pequeño:

$$A_{\text{rectángulo}} = \text{base} \times \text{altura}$$

$$A_{\text{rectángulo}} = [(4 - 3) \pm 0.05 \text{ m}] \cdot (0.290 \pm 0.05 \text{ m})$$

$$A_{\text{rectángulo}} = 0.290 \pm 0.186 \text{ m}^2$$

Para la determinación del área del triángulo superior se tomó como altura del mismo, la diferencia de altura entre la altura del lodo en cada metro como se puede observar a continuación:

$$A_{\text{triángulo}} = \frac{1}{2} \text{base} \times \text{altura}$$

$$A_{\text{triángulo}} = \frac{1}{2} [(4 - 3) \pm 0.05 \text{ m}] (|0.290 - 0.335| \pm 0.05 \text{ m})$$

$$A_{\text{triángulo}} = 0.023 \pm 0.035 \text{ m}^2$$

El área total de la sección está dada por:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{rectángulo}} + A_{\text{triángulo}}$$

$$A_{\text{total}} = (0.290 \pm 0.186) \text{ m}^2 + (0.023 \pm 0.035) \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 0.313 \pm 0.190 \text{ m}^2$$

Cálculo 2.6: Determinación del volumen de la sección transversal de lodos dentro del tanque de sedimentación entre el metro 3 y el metro 4.

El ancho del tanque es de 15.5 m, por lo tanto el volumen de los lodos (por cada segmento entre dos metros del tanque) está dado por:

$$V_{lodos} = A_{total} \cdot (15.5 \pm 0.05 \text{ m})$$

$$V_{lodos} = (0.313 \pm 0.190 \text{ m}^2)(15.5 \pm 0.05 \text{ m})$$

$$V_{lodos} = 4.84 \pm 0.607 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.7: Determinación del volumen total del tanque de sedimentación.

$$V_{tanque} = Alto \times Ancho \times Largo$$

$$V_{tanque} = (3.5 \pm 0.05 \text{ m})(15.5 \pm 0.05 \text{ m})(54.3 \pm 0.05 \text{ m})$$

$$V_{tanque} = 2,945.78 \pm 0.81 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.8: Determinación de la cantidad total de agua en tanque de sedimentación.

$$V_{agua} = V_{tanque} - V_{lodos}$$

$$V_{agua} = (2,945.78 \pm 0.81 \text{ m}^3) - (1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3)$$

$$V_{agua} = 1,868.06 \pm 1.681 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.9: determinación de la cantidad de lodos remanentes en el tanque después del drenaje inicial de los tanques.

Para el drenaje de los tanques se abren las 6 válvulas localizadas en el fondo del tanque, el drenaje se lleva a cabo en aproximadamente 2 horas (abren válvulas de 5:00 a.m. a 7:00 a.m.). Durante este periodo se drena toda el agua clarificada del tanque y algunos lodos. Se observó que después del drenaje la altura promedio de los lodos remanentes era de 0.5 m, por lo que el volumen de estos lodos es de:

$$V_{lodos \text{ remanentes}} = \text{largo del tanque} \times \text{ancho del tanque} \times \text{altura de lodos remanentes}$$

$$V_{lodos \text{ remanentes}} = (54.3 \pm 0.05 \text{ m})(15.5 \pm 0.05 \text{ m})(0.5 \pm 0.05 \text{ m})$$

$$V_{lodos \text{ remanentes}} = 420.83 \pm 0.100 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.10: Volumen total que se drena del tanque de sedimentación durante el drenaje inicial.

Volumen de lodos que se drena durante el drenaje inicial:

$$V_{\text{lodos drenados}} = V_{\text{lodos totales}} - V_{\text{lodos remanentes}}$$

$$V_{\text{lodos drenados}} = (1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3) - (420.83 \pm 0.100 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{lodos drenados}} = 656.90 \pm 1.484 \text{ m}^3$$

Volumen total drenado, incluye los lodos drenados y toda el agua clarificada que se encontraba dentro del tanque:

$$V_{\text{drenado}} = V_{\text{lodos drenados}} + V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{drenado}} = (656.90 \pm 1.484 \text{ m}^3) + (1,868.06 \pm 1.681 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{drenado}} = 2,524.95 \pm 2.076 \text{ m}^3$$

Cálculo 2.11: Caudal de drenaje del tanque de sedimentación.

El período de drenaje del tanque de sedimentación tiene una duración de dos horas, por lo que el caudal de lodos y agua drenada es de:

$$q_{\text{drenaje}} = \frac{\text{volumen drenado}}{\text{tiempo de drenaje}}$$

$$q_{\text{drenaje}} = \frac{2,524.95 \pm 2.076 \text{ m}^3}{2 \text{ h}}$$

$$q_{\text{drenaje}} = 1,262.48 \pm 1.038 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo 2.12: Caudal de lodo y agua durante el tiempo de lavado.

Durante el período de lavado se utilizan 510.54 m³ de agua para lavar los 420.83 m³ de lodo que quedan en el tanque después del drenaje inicial. El volumen total durante el lavado del tanque es de:

$$V_{\text{lavado}} = V_{\text{agua de lavado}} + V_{\text{lodos remanentes}}$$

$$V_{\text{lavado}} = (510.54 \pm 58.326 \text{ m}^3) + (420.83 \pm 0.100 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{lavado}} = 931.36 \pm 58.326 \text{ m}^3$$

El período de lavado inicia a las 7:00 a.m. y termina a las 12:00 p.m., por lo que el tiempo de lavado es de 5 horas. El caudal de lavado entonces es de:

$$q_{\text{lavado}} = \frac{\text{volumen lavado}}{\text{tiempo de lavado}}$$

$$q_{\text{lavado}} = \frac{931.36 \pm 58.326 \text{ m}^3}{5 \text{ h}}$$

$$q_{\text{lavado}} = 186.272 \pm 11.665 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo 2.13: Determinación de la masa de lodos residuales.

$$m_{\text{lodos}} = \rho \cdot V_{\text{lodos}}$$

$$m_{\text{lodos}} = \left(1.56 \pm 0.01 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) (1,077.72 \pm 1.480 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{lodos}} = 1,681,243.2 \pm 1,836.96 \text{ kg}$$

Cálculo 2.14: Determinación de la masa de dióxido de silicio presente en los lodos residuales.

$$\% P/p = \frac{\text{masa de compuesto}}{\text{masa total}} \cdot 100$$

$$m_{\text{SiO}_2} = \left(\frac{\% p/p}{100} \right) \cdot m_{\text{total}}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = \left(\frac{50.56}{100} \right) \cdot 1,681,243.2 \pm 1,836.96 \text{ kg}$$

$$m_{\text{SiO}_2} = 850,036.6 \pm 943.86 \text{ kg}$$

3. Determinación de la densidad del lodo. Para este cálculo se pesó una probeta de 500 mL y se anotó el peso, luego se agregó un volumen 200 mL de lodo que en realidad se determinó que se había agregado exactamente 220 mL, luego de medir este volumen se procedió a tomar el peso del lodo agregado a la probeta y así se logró determinar la densidad al dividir la masa dentro del volumen obtenido.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ecuación 41 (Sears, 2008)

$$\rho = \frac{245.3g}{220mL} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{1000mL}{1L} * \frac{1000L}{1m^3} = 1,115 \frac{kg}{m^3}$$

4. Determinación de la viscosidad. La viscosidad es la fricción interna en un fluido. Las fuerzas viscosas se oponen al movimiento de una porción de un fluido relativo a otra. Un fluido viscoso tiende a adherirse a una superficie sólida en contacto con ella. Hay una capa de frontera delgada de fluido cerca de la superficie, en la que está casi en reposo respecto a la superficie. Para determinar la viscosidad del lodo se procedió a realizar el siguiente cálculo con la formula derivada por Paul N. Gardner Company dada en centistokes.

$$V = \frac{23.56T - 744}{T}$$

Ecuación 42 (Gardner, 2007)

$$V = \frac{23.56(135) - 744}{135} = 18.05 \text{ cst} * \frac{1cp}{1cst} * \frac{0.001 kg/ms}{1cp} = 0.01805 \frac{kg}{ms}$$

5. Resistencia de compresión no confinada del cubo lodo más cemento 1.

$$q_u \{resistencia de compresión no confinada\} = \frac{36.65 lb * \frac{1kg}{2.2046lb}}{2332.9mm^2 * \frac{1cm^2}{100mm^2}} = 0.7126 \frac{kg}{cm^2}$$

*NOTA: Este cálculo se realizó de la misma manera para los demás cubos de cemento y lodo más cemento.

Cálculo 5.1. Resistencia de corte del cubo lodo más cemento 1.

$$q_c \{resistencia de corte\} = \frac{36.65 lb * \frac{1kg}{2.2046lb}}{2 * 2332.9mm^2 * \frac{1cm^2}{100mm^2}} = 0.3563 \frac{kg}{cm^2}$$

*NOTA: Este cálculo se realizó de la misma manera para los demás cubos de cemento y lodo más cemento.

6. Cálculo de las humedades de salida del filtro de manta. Se determinaron las humedades del sólido a diferentes tiempos con el fin de conocer el exceso de agua que pasa al filtro en el momento de ser depositado y a diferentes tiempos expuesto al sol para conocer la cantidad de humedad que se pierde por acción de este tipo de energía.

Tabla No. 103: Humedad del lodo a diferentes tiempos para el filtro de manta.

Muestra	Tiempo [±0.1min]	Humedad [±0.01%]
1	0.0	85.25
2	0.0	93.12
3	0.0	92.34
4	0.3	70.14
5	5.0	70.06
6	15.0	69.87
7	20.0	68.35
8	60.0	65.38
9	120.0	66.96
10	180.0	60.59

El tiempo 0 muestra la humedad inicial del sólido, con esto se logra conocer aproximadamente cual es la humedad a la que sale del proceso de lavado.

$$\text{Humedad inicial} = \frac{(85.25 \pm 0.01 + 93.12 \pm 0.01 + 92.34 \pm 0.01)\%}{3}$$

$$\text{Humedad inicial} = 90.24 \pm 0.02\%$$

La razón de secado por hora debido a la energía solar es de

$$\text{Razón secado} = \frac{(73.14 \pm 0.01 - 65.38 \pm 0.01) + (65.38 \pm 0.01 - 66.96 \pm 0.01) + (66.96 \pm 0.01 - 60.59 \pm 0.01)}{3}$$

$$\text{Razón secado} = \frac{4.18 \pm 0.24\%}{h}$$

Es importante considerar que la capa de sólidos evaluados fue de aproximadamente dos centímetros y como se puede observar en la parte del cálculo de las dimensiones del patio de secado que se muestra posteriormente, la altura establecida es de 15 centímetros, por lo que se puede esperar que el tiempo sea 7.5 veces mayor si se considera que afecta linealmente.

7. Cálculo del balance de masa para el proceso de filtrado con la banda. La primera parte se debe a que el proceso de secado consiste en la apertura de los seis drenajes, permitiendo que toda el agua dentro del tanque se logre evacuar. El agua clarificada se encuentra en la parte superior, por lo que se crean canales de ratón que permiten la salida de agua clara sin arrastrar grandes cantidades de lodo. Este proceso tarda aproximadamente dos horas en concluir; los operadores abren los drenajes a las 5 a.m. y observan el estancamiento del lodo aproximadamente a las 7 a.m.

El flujo de agua en este momento se determina de la forma siguiente. Se conocen las dimensiones de los tanques y se sabe que el agua llega hasta un metro menor del nivel total del tanque. Por lo que el volumen total del tanque clarificador utilizado es de 2945.78 metros cúbicos, a esto se le resta la cantidad de lodo que queda luego del vaciado, lo cual es un volumen total de 420.83 metros cúbicos. De esta forma, el volumen real de salida en la etapa de vaciado se determina a continuación

$$Q_1 = \frac{(2945.78 - 420.83)m^3}{2h} * \frac{1h}{3600s}$$

$$Q_1 = 0.3507 \frac{m^3}{s} \left(350 \frac{L}{s} \right)$$

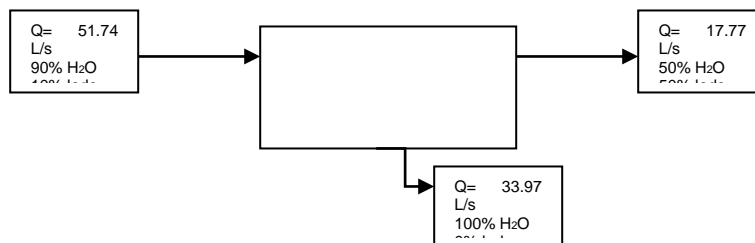
El lodo restante, ya no se puede movilizar por medio de la acción de la gravedad. Esto debido al diseño de los tanques y la viscosidad alta que este mismo posee. Para lograr fluidizar el lodo, los operadores utilizan agua y logran desplazarlo. Los flujos volumétricos son menores debido a que el volumen de lodo es menor y el tiempo en lavar el lodo es mayor (aproximadamente 5 horas). Utilizando la cuantificación de agua de lavado promedio, se determina el flujo volumétrico para la segunda parte a continuación

$$Q_2 = \frac{(420.83 + 510.54)m^3}{5h} * \frac{1h}{3600s}$$

$$Q_2 = 0.0517 \frac{m^3}{s} \left(51.74 \frac{L}{s} \right)$$

Para fines de cálculo, se determinó la segunda etapa de lavado, ya que en esta se transporta mayor cantidad de lodo que quedará en la parte superior del filtro; el agua únicamente se filtrará y de forma rápida por lo que no afectará en el cálculo de la banda.

Para simplificar el cálculo, se tomará el filtro de banda como una caja negra. Las entradas y salidas del sistema, con sus respectivos flujos, se muestran a continuación



Por medio del análisis con el filtro de manta, se ha logrado establecer que la humedad del lodo luego de la banda es de aproximadamente 70 por ciento y luego del filtrado se elimina casi todo el lodo, dejando únicamente partículas que brindan color al agua y ciertas que logran pasar el mesh. La forma en la que se calcularon los flujos es la siguiente. Realizando un balance de masa se obtiene la siguiente expresión

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + \dot{V}_3$$

Donde la denominación 1 es para el flujo de entrada, 2 para la salida de agua filtrada y 3 para la salida del lodo en menor humedad.

Un balance para la fracción de masa de lodo y agua en la entrada y salida se muestra a continuación:

$$X_{H_2O} \dot{V}_1 = X_{H_2O} \dot{V}_2 + X_{H_2O} \dot{V}_3$$

$$X_{lodo} \dot{V}_1 = X_{lodo} \dot{V}_2 + X_{lodo} \dot{V}_3$$

Debido a que la fracción de lodo en la parte inferior del filtro es de 0 por ciento, la ecuación 29 se resuelve de la siguiente forma:

$$0.1 * \frac{51.74L}{s} = 0 + 0.2912 \dot{V}_3$$

$$\dot{V}_3 = 17.77 \frac{L}{s}$$

Utilizando esta expresión en la ecuación 28, el flujo volumétrico en la salida de agua filtrada es de

$$\frac{51.74L}{s} = \dot{V}_2 + \frac{17.77L}{s}$$

$$\dot{V}_2 = 33.97 \frac{L}{s}$$

8. Cálculo de banda transportadora y selección de serie. Conociendo la densidad del lodo a una humedad del 37 por ciento, se puede determinar la densidad del sólido y luego aplicarla a la humedad que se recibirá en el filtro.

$$1115 \frac{Kg}{m^3} = 0.37 \left(1000 \frac{Kg}{m^3} \right) + 0.63(\rho_s)$$

$$\rho_s = \frac{(1115 - 370) \frac{Kg}{m^3}}{0.63}$$

$$\rho_s = 1182.54 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_{90\%} = 0.9 \left(1000 \frac{Kg}{m^3} \right) + 0.1 \left(1182.54 \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$\rho_{90\%} = 1018.25 \frac{Kg}{m^3}$$

El flujo másico en toneladas inglesas por hora se determina a partir del flujo volumétrico de entrada como sigue

$$Q = 51.74 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{3600s}{1h}$$

$$Q = 186.26 \frac{m^3}{h}$$

a. Incorporación de malla en la banda. Las condiciones a las que se logró filtrar el lodo y obtener una separación aceptable, son con una malla más fina a todas las bandas que se pueden encontrar en el catálogo de Intralox. Debido a este impedimento, se acoplará una malla de acero inoxidable 304 número 80. Según consultas con los proveedores de la manta utilizada en el experimento, la manta posee una apertura de 0.02 milímetros, lo que

corresponde a una malla entre 80 y 100 para una norma A.S.T.M.-11. La empresa TWP maneja diferentes espacios de apertura, por lo que el espacio de apertura que equivale a los evaluados es una malla 80, que tiene una apertura de 0.014 milímetros.

b. Determinación de la inclinación de la banda. Se eligió una inclinación de 10 grados, debido a que a esta inclinación el material no se caerá durante el recorrido hacia afuera de la banda. Por medio de trigonometría la altura a la que se elevará la banda. Conociendo el ángulo de inclinación y la distancia de la banda, la altura es de:

$$(8m)\text{sen}10 = H$$

$$H = 1.4 m$$

c. Determinación de las dimensiones de la banda, según requerimiento del flujo másico. Se establecieron las siguientes dimensiones del filtro: ancho de 2 metros y un largo de 8 metros. Según capacidades de los filtros y referencias, la velocidad de la banda es de 100 pies por minuto o 1829.27 metros por hora. Conociendo que el flujo volumétrico es de 186.26 metros cúbicos por hora, la altura de lodos que se depositará sobre el filtro se determina una relación del flujo volumétrico sobre el área que se mueve del filtro sobre unidad de tiempo, como se muestra a continuación:

$$\frac{186.26 \frac{m^3}{h}}{1829.27 \frac{m}{h} * (2m)} = altura$$

$$altura = 0.051m$$

Conociendo la altura a la que se depositará el lodo según las medidas de la banda y los flujos, la carga del producto por área se determina a continuación:

$$M = 0.051m * 1182.54 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M = 60.31 \frac{Kg}{m^2}$$

d. Determinación por tensión de carga:

$$BP = [(M + 2W) * Fw + Mp] * L + (M * H)$$

Ecuación 43 (Intralox, 2012)

$$M = 60.31 \frac{Kg}{m^2} + 0.68 \frac{Kg}{m^2}$$

$$W = 2.65 \frac{Kg}{m^2}$$

$$L = 8m$$

$$H = 1.40m$$

$$F_w = 0.26$$

$$M_p = 0$$

$$BP = \left[\left(60.99 \frac{Kg}{m^2} + 2 * 2.65 \frac{Kg}{m^2} \right) * 0.26 + 0 \right] * 8 + \left(60.99 \frac{Kg}{m^2} * 1.40 \right)$$

$$BP = 223.27 \frac{Kg}{m}$$

e. Determinación de la resistencia permitida de la banda:

$$ABS = CF * T * S$$

Ecuación 44 (Intralox, 2012)

$$CF = 450 \frac{Kg}{m}$$

$$T = 0.98$$

$$S = 0.91$$

$$ABS = 450 \frac{Kg}{m} * 0.98 * 0.91$$

$$ABS = 401.31 \frac{Kg}{m}$$

Para comprobar si la banda es lo suficientemente fuerte para la aplicación, el ABS debe ser mayor que el BP. Esta condición sí cumple con los requisitos, por lo que las condiciones de proceso y materiales necesarios son satisfactorias para el proceso.

f. Determinación de la separación máxima entre los engranajes del eje motriz:

$$ABSU = \left(\frac{ABP}{ABS} \right) * 100\%$$

Ecuación 45 (Intralox, 2012)

$$ABSU = \frac{223.27 \frac{Kg}{m}}{401.31 \frac{Kg}{m}} * 100\%$$

$$ABPSU = 55.64\%$$

Según los datos de engranaje para la serie 100 (encontrada en apéndice), la separación de engranajes es de 63.5 mm.

g. Confirmación de la resistencia del eje motriz. Se eligió el eje de acero inoxidable con la medida del agujero de cubo de 60 milímetros cuadrados, ya que es el mayor y la cantidad de lodo y agua son muy grandes. Los valores de Q , E e I se encontraron a partir de la Figura No. no. 6. A partir de este dato se logró determinar el peso por unidad de masa.

$$w = (ABP + Q) * B$$

Ecuación 46 (Intralox, 2012)

$$Q = 29.11 \frac{Kg}{m}$$

$$B = 2.134m$$

$$w = \left(223.27 \frac{Kg}{m} + 29.11 \frac{Kg}{m} \right) * 2.134m$$

$$w = 538.58Kg$$

$$D = \frac{5}{384} * \frac{w * Ls^3}{E * I}$$

Ecuación 47 (Intralox, 2012)

$$Ls = 2438mm$$

$$E = 19700 Kg/mm^2$$

$$I = 1,080,000 mm^4$$

$$D = \frac{5}{384} * \frac{538.58 Kg * (2134mm)^3}{19700 Kg/mm^2 * 1,080,000 mm^4}$$

$$D = 3.20mm$$

Debido a que el valor de deflexión es mayor a 2.5, el tamaño del eje y el material deben cambiarse. Se eligió acero al carbón ya que su resistencia es mayor. El tamaño del eje es de 56mm cuadrados. La deflexión para el tamaño de eje de este material es de:

$$Q = 34.16 \frac{Kg}{m}$$

$$I = 1,487,600 mm^4$$

$$E = 21,100 Kg/mm^2$$

$$w = 547.05 \text{ Kg}$$

$$D = \frac{5}{384} * \frac{549.36 \text{ Kg} * (2134\text{mm})^3}{21,100 \text{ Kg/mm}^2 * 1,487,600 \text{ mm}^4}$$

$$D = 2.21\text{mm}$$

El valor de la deflexión es menor a al máximo de 2.5 milímetros, por lo que la separación y el material sí resisten al proceso. El par de torsión a transmitirse es:

$$T_o = ABP * B * \frac{PD}{2}$$

Ecuación 48 (Intralox, 2012)

$$PD = 0.155\text{m}$$

$$T_o = 223.27 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 2.134\text{m} * 0.077\text{m}$$

$$T_o = 36.69 \text{ Kg} * \text{m}$$

Este valor se compara con el valor de la Figura No. no. 7 para un diámetro del eje de 65mm para el acero inoxidable 304, la cual muestra un valor de par de torsión de 460Kg*m. Comparando con el valor de T_o , se puede observar que el valor de T_o es menor. Esto demuestra que el material es lo suficientemente fuerte y el largo del eje está bien dimensionado.

- h. Determinación de la potencia necesaria para accionar la banda. La potencia necesaria en vatios, se determina como sigue:

$$\text{Potencia banda} = \frac{ABP * B * V}{6.12}$$

Ecuación 49 (Intralox, 2012)

$$\text{Potencia banda} = \frac{223.27 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 2.134\text{m} * 30.49 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}{6.12}$$

$$\text{Potencia banda} = 2,373.73 \text{ vatios (3.18 hp)}$$

- i. Determinación de la potencia requerida por el motor y selección del motor. La banda necesita de una potencia para poder movilizarse, esta la brinda el motor que debe ser propiamente elegido. Para conocer a cuantas revoluciones trabajará el eje es necesario convertir la velocidad lineal de la banda a la velocidad angular del eje.

$$V = r * RPM * 0.10472$$

$$V = 0.5082 \frac{m}{s}$$

$$r = 0.077m$$

$$RPM = \frac{0.5082 \frac{m}{s}}{0.007 * 0.10472}$$

$$RPM = 63.02$$

Debido a que los motores trabajan con revoluciones más altas, es necesario colocar una caja reductora. En el apéndice se encuentra la información para el motor que se puede aplicar, el cual es un motor trifásico marca Leeson modelo AAF2BT61 de 5 caballos de potencia y 3600 revoluciones por minuto. La reducción necesaria es triple y de engranajes lo que afecta en un 5 por ciento a la potencia de la banda. Por lo tanto, la potencia del motor debe ser de

$$Potencia\ motor = \frac{3.18\ hp}{100\% - 5\%} * 100$$

$$Potencia\ motor = 3.35hp$$

El motor seleccionado tiene una eficiencia de 89.5 por ciento, por lo que podrá entregar una potencia de 4.475hp. Esto demuestra que el motor seleccionado sí podrá manejar la banda transportadora con la carga de lodo.

9. Secado de lodos por medio de convección de aire directo. El proceso de secado consta en eliminar la humedad de los lodos hasta aproximadamente 20 por ciento. Para facilidad de eliminación de agua, se ingresará el lodo que sale del filtro de banda hacia un secador de bandejas, la cual es una humedad aproximada del 70 por ciento. Por lo que

$$x_o = 2.33$$

$$x_f = 0.2393$$

A las mismas condiciones del proceso, que son:

$$Potencia\ eléctrica = 1584.0 \pm 0.1\ Watts$$

$$Temperatura\ salida = 56 \pm 0.1^{\circ}C$$

$$Velocidad\ del\ aire = 11.5 \pm 0.1 \frac{m}{s}$$

$$\text{Humedad relativa} = 50\%$$

Se puede determinar el tiempo necesario para la operación a gran escala del flujo. Se conoce que el flujo es de 17.77 litros por segundo, lo que representa una masa total, en todo el tiempo de proceso de:

$$\text{masa} = 17.77 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1115Kg}{1m^3} * \frac{3600s}{1h} * 5h$$

$$\text{masa} = 356,643.9 Kg$$

Suponiendo que las bandejas serán de un metro cuadrado y una altura de 3 cm, el volumen que manejan es de 0.03 metros cúbicos. Lo que representa una masa de sólido seco de:

$$S_s = 0.03m^3 * \frac{1115Kg}{1m^3} * (1 - 0.2393)$$

$$S_s = 25.45Kg$$

Los tiempos necesarios para el secado, corresponden a la parte de rapidez constante y decreciente. Según los periodos de rapidez constante se dan hasta una fracción X_c de 0.7 Kg humedad/Kg sólido seco. Entonces la rapidez de secado constante se determina como:

$$\theta_{cte} = \frac{25.45Kg(2.33 - 0.7)}{1m^2 \left(0.0035 \pm 0.0001 \frac{Kg}{min*m^2} \right)}$$

Ecuación 50 (Treybal, 1988)

$$\theta_{cte} = 11,852.43 \pm 338.64min$$

Para el periodo de rapidez decreciente el punto en el que cambia la pendiente es $X_2=0.295$. Se puede calcular el tiempo como,

$$\theta_{dec} = \frac{25.45Kg(0.7 - 0.2393)}{1m^2 \left(0.0035 \pm 0.0001 \frac{Kg}{min*m^2} \right)} \ln \frac{(0.7 - 0.2393)}{(0.295 - 0.2393)} \text{ Ec no. 17 (Treybal, 1988)}$$

$$\theta_{dec} = 7,077.66 \pm 220.21min$$

El tiempo total se determina como:

$$\theta = 11852.43 \pm 338.64min + 7077.66 \pm 220.21min$$

$$\theta = 18,930.09 \pm 403.94min$$

Estos cálculos se representan para una bandeja, realizando una relación de flujos se obtiene la cantidad de bandejas necesarias para la operación y el área necesaria para el equipo de convección.

$$\text{Cantidad de bandejas} = 17.77 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1 \text{ bandeja}}{0.03m^3} * \frac{3600s}{1h} * 5h$$

$$\text{Cantidad de bandejas} = 10,662$$

Debido a que se estableció que cada bandeja es de 1 metro cuadrado, el área necesaria es de 6204 metros cuadrados. Lo que representa un equipo demasiado grande. Se podría distribuir la cantidad de flujo entrante al secador, para disminuir el área necesaria. Pero para poder obtener valores de energía necesaria, de igual forma se necesita el área total a trabajar y el tiempo que cada bandeja se tarda. Para facilidad de cálculos, se realizara sobre la cantidad de bandejas necesarias y el tiempo en el cual se tarda por bandeja asumiendo que todas entran en un mismo equipo.

Partiendo de la información de las condiciones iniciales del proceso, las propiedades del aire son

$$\text{Densidad} = 1.0670 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\text{Entalpía} = 231.67 \frac{KJ}{Kg}$$

El diámetro interior de la tubería es de 10.530 ± 0.005 centímetros, lo que representa un área de

$$\text{área interior tubería} = \frac{\pi}{4} (10.53 \pm 0.005cm)^2 * \frac{1m^2}{(100cm)^2}$$

$$\text{área interior tubería} = 0.00871 \pm 0.00001m^2$$

El flujo másico es de

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \left[(0.00871 \pm 0.00001m^2) * \left(11.5 \pm 0.1 \frac{m}{s} \right) \right] * 1.0670 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.1609 \pm 0.0014 \frac{Kg}{s}$$

Conociendo el valor de la entalpía del aire, el flujo energético el aire a estas condiciones es de:

$$P_{aire} = 0.1609 \pm 0.0014 \frac{Kg}{s} * 231.67 \frac{KJ}{Kg}$$

$$P_{aire} = 37.28 \pm 0.32 \frac{KJ}{s}$$

Para poder procesar todo el lodo hasta lograr obtener una humedad deseada, la potencia requerida es de:

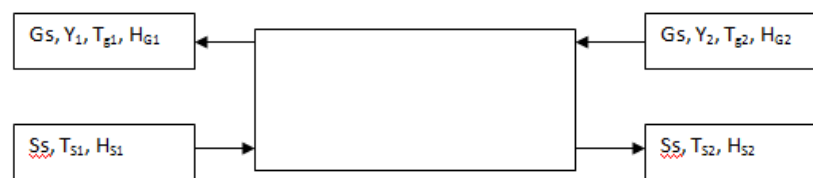
$$P_{convección} = 18,930.09 \pm 403.94min * \frac{60s}{1min} * 37.28 \pm 0.32 \frac{KJ}{s}$$

$$P_{convección} = 4.23 * 10^7 \pm 9.73 * 10^5 KJ$$

10. Secado de lodos por medio de convección de aire directo en un secador continuo. Para el proceso de secado se estableció un tiempo de proceso de tres días trabajando las 24h. Las condiciones iniciales y finales de vapor se establecieron de la siguiente forma:

- Temperatura de aire: 90°C a la entrada y 40°C a la salida y 60% humedad relativa.
- Temperatura del sólido: 20°C a la entrada y 60°C a la salida.
- Se secará el sólido del 70% al 20%.

El diagrama de las entradas y salidas del proceso se muestra a continuación:



$$X_1 = \frac{70\%}{100\% - 70\%}$$

$$X_1 = 2.33$$

$$X_2 = \frac{20\%}{100\% - 20\%}$$

$$X_2 = 0.25$$

A 20°C, la humedad absoluta es de 0.011 kg agua evaporada/kg aire seco. El flujo de sólidos se determina a partir de la cantidad de horas a trabajar como se muestra a continuación:

$$S = \frac{356,640 \text{ kg}}{72 \text{ h}}$$

$$S = 4953.33 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

La cantidad de sólidos secos se determina restando la fracción final de humedad:

$$S_s = 4953.33 \frac{\text{kg}}{\text{h}} (1 - 0.25)$$

$$S_s = 3715 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

La entalpía para el gas en la entrada y salida se determina a continuación:

$$H_{G2} = \left[1005 + 1884 \left(0.011 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}} \right) \right] * 90^\circ\text{C} + 2502300 \left(0.011 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}} \right)$$

$$H_{G2} = 119840.46 \frac{\text{J}}{\text{kg aire seco}}$$

$$H_{G1} = \left(1005 + 1884 * 0.011 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}} \right) (40) + 2502300 Y_1$$

$$H_{G1} = 41028.96 + 2502300 Y_1$$

Según Metcalf, el valor de calor para los lodos primarios es de 25,000kJ/kg. Este valor se utilizará para la estimación ya que no se cuentan con dichos valores para los sólidos del proceso. Las entalpías del sólido se determinan a continuación:

$$H_{S2} = 25 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + 0.25(4187)(60^\circ\text{C})$$

$$H_{S2} = 25062805 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$H_{S1} = 25 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + 2.33(4187)(20^\circ\text{C})$$

$$H_{S1} = 25195114.2 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

El balance de masa se determina a continuación:

$$3715 \frac{kg}{h} (2.33 - 0.25) = G_s (Y_1 - 0.011)$$

El balance de energía se determina a continuación:

$$\begin{aligned} 3715 \frac{kg}{h} \left(25195114.2 \frac{J}{kg} \right) + G_s \left(119840.46 \frac{J}{kg \text{aireseco}} \right) \\ = 3715 \frac{kg}{h} \left(25062805 \frac{J}{kg} \right) + G_s (41028.96 + 2502300 Y_1) \end{aligned}$$

Resolviendo de forma simultánea, se obtiene:

$$\begin{aligned} G_s &= 631.75 \frac{TM}{h} \\ Y_1 &= 0.012 \end{aligned}$$

Por medio de la carta psicrométrica, la entalpía del aire seco es de 46.94 kJ/kg. Los requerimientos energéticos del aire es de:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= 631748.89 \frac{kg \text{aireseco}}{h} * (119.84 - 46.94) \frac{kJ}{kg \text{aireseco}} \\ \dot{q} &= 4.61 * 10^7 \frac{kJ}{h} \end{aligned}$$

Según el Perry, el valor de la entalpía del LGP de combustión de 2.0431×10^9 J/kmol. La necesidad de propano se determina a continuación:

$$\begin{aligned} H_{\text{propano}} &= 2.0431 * \frac{10^9 J}{kmol} * \frac{1 kmol}{1000 mol} * \frac{1 mol}{44.097 g} * \frac{1000 g}{1 kg} * \frac{1 kJ}{1000 J} \\ H_{\text{propano}} &= 46,329.68 \frac{kJ}{kg} \\ \dot{m}_{\text{propano}} &= \frac{4.61 * 10^7 \frac{kJ}{h}}{46,329.68 \frac{kJ}{kg}} \\ \dot{m}_{\text{propano}} &= 995 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Esta cantidad de propano es muy alta debido a los altos requerimientos energéticos del sistema, haciendo que el proceso sea técnicamente no viable. Es importante mencionar que el

proceso se calculó de forma adiabática, por lo que realmente es necesario considerar las pérdidas que afectarán en un incremento en el requerimiento energético y por lo tanto de gas.

11. Cálculo de las dimensiones del patio de secado. Debido a que el tiempo y energía para tratar la cantidad de lodo a la humedad que sale del sistema de eliminación de exceso de agua son demasiados altos, es necesario utilizar la energía solar y aprovechar el espacio disponible en la planta "Lo De Coy".

Para determinar el patio de secado se determinó el volumen de lodo a tratar el cual es de 186 metros cúbicos, el cual tiene una humedad del 70 por ciento. El porcentaje de humedad en el cual los sólidos residuales son manejables de forma fácil es de 20 por ciento; ya no se presenta la propiedad de quedarse adherido. Manteniendo este porcentaje como punto meta, se perderá un 50 por ciento de humedad, por lo que el volumen de sólidos residuales "secos" es de 93 metros cúbicos. A este valor se le debe tomar en consideración la cantidad de cal dosificada, que es de aproximadamente 4 metros cúbicos. Por razones de sobredimensionamiento, se establecerá un volumen final de 100 metros cúbicos a tratar en el patio de secado.

Para determinar el área necesaria de operación, se estableció que se permitirá una altura aproximada de lodos de 0.15 metros, ya que al tener una altura mayor será más difícil secarlos. La determinación del área, suponiendo un área cuadrada, de secado se muestra a continuación:

$$\text{Área de Secado} = 100\text{m}^3 \left(\frac{1}{0.15\text{m}} \right) = 666.67 \text{ m}^2$$

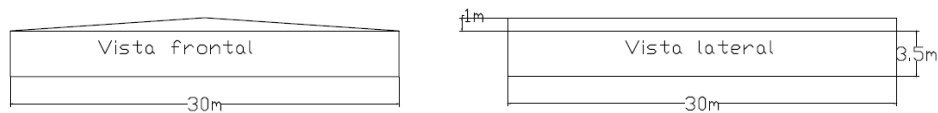
$$\text{Dimensión del Patio de Secado} = \sqrt{666.67 \text{ m}^2} = 25.82\text{m}$$

El largo y ancho del patio de secado es de 25.82 m, área con la cual se cuenta en la planta. Este patio de secado tendrá sus respectivas paredes y techo forrados de nylon transparente para permitir el ingreso de los rayos ultravioleta y también debe contarse con un sistema de recirculación de aire para no permitir que se acumule vapor de agua y bajar el gradiente de transferencia de masa del agua hacia el aire.

Las dimensiones que se establecieron para el espacio de secado serían de 30*30m, lo que representa un aumento de 13% de las medidas establecidas. Se estableció un 10% de aumento para tener espacio en caso de obtener mayores flujos, pero por facilidad de cálculo y futura construcción se decidió establecer las medidas mencionadas. Como altura se estableció

de 3.5m ya que el tornillo sin fin que alimentaría el patio se eleva hasta 3m. Por diseño estructural, el techo se inclinaría aproximadamente 1m más en el centro.

Diagrama No.4: Dimensiones preliminares de la galera para el pario de secado solar.



El volumen de la galera se determina a continuación:

$$V_{galera} = (1.5m * 30m * 15) + (30m * 30m * 3.5m)$$

$$V_{galera} = 3600m^3$$

12. Secado de lodos por medio del patio de secado solar. Proceso de secado a exposición solar sin flujo de aire:

Según los resultados, que se pueden observar en la Tabla No. 36, la razón promedio es de 4.18%/h. Este valor se determinó para una cama de 2cm de alto. Es importante mencionar que se estableció como altura de lodo 15cm para la determinación del área del patio de secado. La razón de secado no será lo mismo, por lo que se estableció otro un proceso para conocer la razón de secado.

Se supuso una razón de secado para los 2cm superiores de la muestra. Al día siguiente se mezclará toda la muestra para homogenizar la humedad. Al día siguiente la humedad comenzará por el valor de humedad homogenizada final del día anterior y los 2cm se secarán a la razón de 4.18%/h y se volverán a mezclar con los otros 13cm restantes. La forma para determinar la humedad en un día se muestra a continuación. En el ejemplo, la humedad inicial es la de la entrada a la galera, la cual es de 70%. El tiempo de exposición al sol se tomó como 8 horas, ya que es el único momento donde se logrará el secado. La razón diaria de secado es de 33%, la cual se resta de la humedad homogénea inicial para los cálculos:

$$H_o = 70\%$$

$$H_f = 70\% - 4.18 \frac{\%}{h} * 8h$$

$$H_f = 47\%$$

$$H_1 = 47\% * \left(\frac{2cm}{15cm}\right) + 70\% * \left(\frac{13cm}{15cm}\right)$$

$$H_1 = 66.94\%$$

$$H_2 = (47\% - 33\%) * \left(\frac{2cm}{15cm}\right) + 66.94\% * \left(\frac{13cm}{15cm}\right)$$

$$H_2 = 64.54\%$$

Debido a que se realizarían los lavados todos los lunes, el tiempo de secado es de siete días. Los resultados para siete días de secado se muestran en la tabla a continuación.

Tabla No. 104: Determinación de humedad para un rango de siete días para un secado solar sin flujo de aire.

día	Humedad inicial	Humedad final capa 2cm	Humedad Capa 2cm	Humedad Capa 13 cm	Humedad final total	Cambio de humedad
1	70.00%	47.00%	6.27%	60.67%	66.93%	3.07%
2	66.93%	33.93%	4.52%	58.01%	62.53%	4.40%
3	62.53%	29.53%	3.94%	54.20%	58.13%	4.40%
4	58.13%	25.13%	3.35%	50.38%	53.73%	4.40%
5	53.73%	20.73%	2.76%	46.57%	49.33%	4.40%
6	49.33%	16.33%	2.18%	42.76%	44.93%	4.40%
7	44.93%	11.93%	1.59%	38.94%	40.53%	4.40%
					Promedio	4.21%

Proceso de secado a exposición solar con flujo de aire. Para conocer el flujo volumétrico que ingresará a la galera, es necesario conocer el área de ingreso y la velocidad del aire. La velocidad del aire es de 4m/s, según el valor más bajo obtenido en la Tabla No.104 para los datos del INSIVUMEH. De esta forma se conocerán los requerimientos mayores de aire y así lograr el dimensionamiento para la necesidad mayor.

Tabla No. 105: Velocidad del aire promedio diaria en la planta "Lo De Coy". Datos obtenidos de INSIVUMEH.

Día	Septiembre		Agosto		Julio		Junio		Mayo		Abril		Marzo		Febrero	
	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	v (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)	\bar{v} (km/h)	\bar{v} (m/s)
1	18.0	5.0	11.0	3.1	18.0	5.0	15.0	4.2	15.0	4.2	13.3	3.7	20.3	5.6		
2	11.0	3.1	18.0	5.0	16.0	4.4	15.0	4.2	11.0	3.1	17.6	4.9	13.3	3.7		
3	18.0	5.0	23.0	6.4	13.0	3.6	20.0	5.6	18.0	5.0	11.0	3.1	27.6	7.7		
4	18.0	5.0	16.0	4.4	18.0	5.0	15.0	4.2	18.0	5.0	20.3	5.6	17.6	4.9		
5	13.0	3.6	15.0	4.2	18.0	5.0	15.0	4.2	18.0	5.0	17.6	4.9	22.6	6.3		
6	11.0	3.1	15.0	4.2	13.0	3.6	18.0	5.0	18.0	5.0	11.0	3.1	25.3	7.0		
7	13.0	3.6	13.0	3.6	11.0	3.1	13.0	3.6	15.0	4.2	17.6	4.9	15.3	4.3		
8	11.0	3.1	16.0	4.4	18.0	5.0	18.0	5.0	11.0	3.1	13.3	3.7	15.3	4.3		
9	16.0	4.4	15.0	4.2	18.0	5.0	18.0	5.0	18.0	5.0	18.0	5.0	23.0	6.4		
10	13.0	3.6	13.0	3.6	15.0	4.2	16.0	4.4	20.0	5.6	17.6	4.9	11.0	3.1		
11	15.0	4.2	11.0	3.1	20.0	5.6	18.0	5.0	13.0	3.6	17.6	4.9	17.6	4.9		
12	18.0	5.0	20.0	5.6	15.0	4.2	23.0	6.4	15.0	4.2	20.3	5.6	13.3	3.7		
13	15.0	4.2	11.0	3.1	11.0	3.1	18.0	5.0	15.0	4.2	20.3	5.6	20.5	5.7		
14	13.0	3.6	18.0	5.0	18.0	5.0	20.0	5.6	20.0	5.6	15.3	4.3	23.0	6.4		
15	11.0	3.1	9.0	2.5	13.0	3.6	15.0	4.2	18.0	5.0	13.3	3.7	20.3	5.6		
16	11.0	3.1	15.0	4.2	23.0	6.4	15.0	4.2	15.0	4.2	16.0	4.4	15.3	4.3		
17	13.0	3.6	15.0	4.2	13.0	3.6	11.0	3.1	15.0	4.2	17.6	4.9	20.3	5.6		
18	15.0	4.2	13.0	3.6	13.0	3.6	16.0	4.4	15.0	4.2	20.3	5.6	23.0	6.4		
19	13.0	3.6	15.0	4.2	13.0	3.6	20.0	5.6	18.0	5.0	15.3	4.3	15.3	4.3		
20	15.0	4.2	13.0	3.6	20.0	5.6	13.0	3.6	20.0	5.6	17.6	4.9	17.6	4.9		
21	18.0	5.0	20.0	5.6	18.0	5.0	18.0	5.0	15.0	4.2	17.6	4.9	18.0	5.0		
22	13.0	3.6	13.0	3.6	18.0	5.0	11.0	3.1	15.0	4.2	20.3	5.6	15.0	4.2	17.6	4.9
23	16.0	4.4	13.0	3.6	16.0	4.4	18.0	5.0	11.0	3.1	17.6	4.9	17.6	4.9	18.3	5.1
24	18.0	5.0	18.0	5.0	15.0	4.2	11.0	3.1	18.0	5.0	20.3	5.6	17.6	4.9	11.0	3.1
25	15.0	4.2	11.0	3.1	11.0	3.1	18.0	5.0	18.0	5.0	23.0	6.4	17.6	4.9	15.3	4.3
26	13.0	3.6	18.0	5.0	15.0	4.2	13.0	3.6	9.0	2.5	15.3	4.3	20.3	5.6	20.3	5.6
27	16.0	4.4	16.0	4.4	16.0	4.4	20.0	5.6	11.0	3.1	17.6	4.9	15.3	4.3	23.3	6.5
28	9.0	2.5	18.0	5.0	13.0	3.6	15.0	4.2	18.0	5.0	17.6	4.9	17.6	4.9	27.6	7.7
29	15.0	4.2	16.0	4.4	18.0	5.0	18.0	5.0	15.0	4.2	20.3	5.6	11.3	3.1	18.0	5.0
30	16.0	4.4	18.0	5.0	18.0	5.0	11.0	3.1	18.0	5.0	17.6	4.9	17.6	4.9		
31			18.0	5.0	20.0	5.6			20.0	5.6			14.0	3.9		
Media	14.3	4.0	15.3	4.2	16.0	4.4	16.2	4.5	15.9	4.4	17.0	4.7	18.0	5.0	18.9	5.3

La entrada de aire se dará en una parte de la galera y se estableció que el espacio por donde existiría un flujo va a ser un 70% del área total. El flujo volumétrico se determina a continuación:

$$A = 30m * 3.5m * 0.7$$

$$A = 73.5m^2$$

$$\dot{V} = 73.5m^2 * \frac{4m}{s} * \frac{3600s}{1h}$$

$$\dot{V} = 1,058,400 \frac{m^3}{h}$$

Las renovaciones que se darían en la galera se determinan a continuación:

$$\text{renovaciones disponibles} = \frac{1,058,400 \frac{m^3}{h}}{3600m^3}$$

$$\text{renovaciones disponibles} = 294 \text{ ren/h}$$

Para el flujo de aire, se determinarán las condiciones a una temperatura de 21°C y una humedad de 60% que es un valor regular en la ciudad de Guatemala. La humedad absoluta son las siguientes:

$$Y_o = 0.011 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco}$$

Debido a que en el proceso se evaporará agua, se estableció el aumento en la humedad hasta 80%. Por lo que la humedad absoluta es de:

$$Y_{sat} = 0.015 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco}$$

Por lo que la cantidad de agua que se podrá evaporar es la diferencia entre la saturación y la existente a una humedad del 60%.

$$Y_f = 0.015 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco} - 0.011 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco}$$

$$Y_f = 0.004 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco}$$

La masa de aire seco en la galera establecida se determina a continuación:

$$m_{aire\ seco} = 3600m^3 * 1.205 \frac{kg}{m^3} * \left(1 - 0.011 \frac{kgvaporagua}{kgaireseco}\right)$$

$$m_{\text{aire seco}} = 4290.28 \text{ kg}$$

El aire será capaz entonces de aceptar la cantidad de masa restante para llegar al 80% de saturación establecido. La masa de agua se determina a continuación:

$$m_{H_2O(v)} = 4290.28 \text{ kg} * 0.004 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}}$$

$$m_{H_2O(v)} = 34.32 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}}$$

Debido a la programación propuesta de lavado, para poder secar los sólidos hasta un 20% en un tiempo de siete días, la razón de secado debe ser de 7.14%/día. La cantidad de lodos evaporados por hora de exposición solar se determina a continuación:

$$m_{\dot{H}_2O} = 0.0714 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg lodo}} * 356,640 \text{ kg lodo}$$

$$m_{\dot{H}_2O} = \frac{25,474.29 \text{ kg agua}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}$$

$$m_{\dot{H}_2O} = 3184.29 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{h}}$$

La cantidad de aire necesaria se determina relacionando la cantidad de agua que se evapora y la cantidad de agua evaporada que puede aceptar a las condiciones establecidas. El flujo de aire se determina a continuación:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{3184.29 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{h}}}{34.32 \frac{\text{kg vapor agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 92.78 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_{\text{aire}} = 92.78 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{h}} * 1.205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{V}_{\text{aire}} = 111.80 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La cantidad de renovaciones necesarias se determina relacionando el volumen de la galera y el flujo necesario para lograr el proceso.

$$\text{renovaciones necesarias} = \frac{111.80 \frac{m^3}{h}}{3600m^3}$$

$$\text{renovaciones necesarias} = 0.03 \frac{ren}{h}$$

Como se puede observar, las renovaciones disponibles con el flujo de aire en la planta durante el año son mayores a las necesarias. Debido a esto se podría aprovechar este aspecto para tener el proceso con una convección natural.

13. Cálculo de los requerimientos del tornillo transportador y las tolvas de recepción y descarga del tornillo transportador Cinta de Corte”.

Cálculo 13.1: Flujo a tratar en el primer tornillo transportador “Cinta de Corte”.

Para este cálculo se tomó el valor del flujo obtenido en la descarga del filtro banda el cual es de 10.34 L/s, este flujo se recibirá en una tolva la cual alimentara al tornillo transportador, una longitud del tornillo de 4 metros, por cuestiones del catálogo se trabajó con unidades inglesas ya que las formulas en el catálogo se encuentran de esta manera.

$$\text{Flujo volumetrico} = 17.771 \frac{L}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{3.28^3 ft^3}{1m^3} = 17.771 \frac{L}{s} \left(2,257.54 \frac{ft^3}{h} \right)$$

Cálculo 13.2: Determinación de la velocidad del tornillo transportador.

Para este cálculo se determinó el material a utilizar y en este caso se asumió que se trabajara con “Lodo seco de depuradora”, se determinó el código del material el cual es 45E47TW con un peso promedio de 45 lb/ft³, un factor “F” de 0.8, la alimentación al 30%B y la serie de componentes a utilizar “3D”. En la Tabla No. 11 se determinó que se trabajara con un tornillo de 20”, este valor se determinó por medio de prueba y error ya que esta tabla nos determina el máximo de RPM de un tornillo de este diámetro el cual es de 40 y la capacidad por 1 RPM que es de 62.14 ft³*RMP/h. Por lo tanto la velocidad del tornillo transportador se determina de la siguiente manera:

$$N = \frac{2,257.54 \frac{ft^3}{h}}{62.14 \frac{ft^3}{h} * 1RPM} = 36.33 \text{ RPM}$$

*NOTA: Este cálculo se realizó de la misma manera para los demás tornillos transportadores.

Como se observa se tiene 36.33 RPM lo cual está por debajo del máximo de RPM necesario para utilizar este tipo de tornillo transportador.

Cálculo 13.3: Determinación de la velocidad del tornillo transportador.

A partir del cálculo 2 en donde se obtuvo la velocidad del transportador se puede determinar el diámetro del eje por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Shaft diameter} = \frac{120}{N} = \frac{120}{36.33} = 3.30''$$

*NOTA: Este cálculo se realizó de la misma manera para los demás tornillos transportadores.

Cálculo 13.4: Determinación de la Potencia del motor del tornillo transportador.

Para efectuar este cálculo se utilizaron los datos establecidos de la Tabla No. 10 a la Tabla No. 14 junto con la información contenida en la Figura No. 16. En éstas se determinaron los siguientes factores: $F_b = 4.4$, $F_d = 165$, $F_f = 1.14$, $F_p = 1$, $F_m = 2.16$, $L = 13.12\text{ft}$, $F_o = 1.08$, $W = 45 \text{ lb/ft}^3$, $e = 85\%$. Para esto se definió que el tornillo a tratar será de la forma "cinta de corte" con 4 m (13.12ft) de longitud y con ganchos de acero fundido. Para determinar la potencia del transportador sin material se realizó de la siguiente manera:

$$Hp_t = \frac{13.12\text{ft} * 36.33 \text{ RPM} * 4.4 * 165}{1,000,000} = 0.35Hp \text{ (Potencia transportado al vacio)}$$

$$Hp_m = \frac{2,257.54 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} * 13.12\text{ft} * 45 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 36.33 \text{ RPM} * 1.14 * 2.16 * 1}{1,000,000}$$

$$= 3.28Hp \text{ (Potencia con material)}$$

$$\text{Total de Hp} = \frac{(0.35 - 3.28)1.08}{0.85} = 4.61Hp \approx 5Hp$$

$$\text{Total de Hp} = (4.61) + (4.61 * 0.05) = 4.84Hp \approx 5Hp$$

Cálculo 13.5: Determinación de la deflexión del tornillo transportador.

Normalmente los tornillos transportadores tienen usualmente una deflexión de $\frac{1}{4}$ ". La deflexión puede ser determinada por medio de un punto medio. Para esto se observó la Tabla No. 17 en la cual se determinaron los siguientes factores: $W = 320$, $L = 13.12\text{ft}$, $E = 32,000$ par acero fundido e $I = 4.788$

$$DEF = \frac{5 * 408 * 157.44^3}{384 * 32000 * 4.788 * 1000} = 0.217''$$

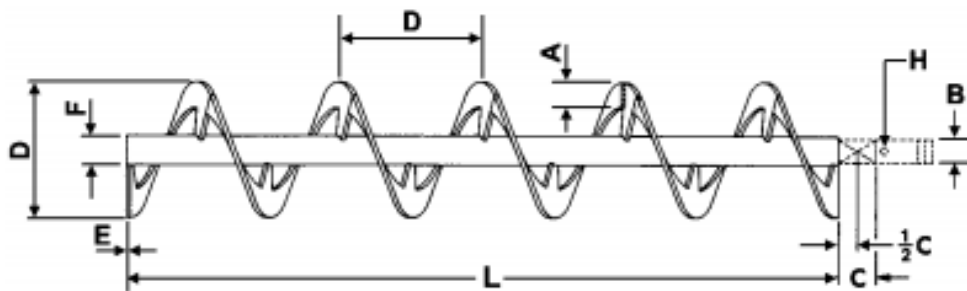
Cálculo 13.6: Determinación del torque para evitar problemas por torsión en el tornillo transportador.

Al determinar todos los tamaños del tornillo y realizar las selecciones correctas es momento de determinar qué tipo de componentes serán necesarios para manejar la potencia del motor. Para determinar el torque se realiza de la siguiente manera

$$Torque = \frac{63025 * 5 Hp}{36.33 RPM} = 8,673.96 in. lbs.$$

Al comparar este dato con la Tabla No. 20 se puede determinar que los cálculos de las dimensiones determinadas son correctos ya que al seleccionar el tornillo de 20" de diámetro con 3.4375" de diámetro del eje y 4" de diámetro de la tubería, equipo el cual tiene como limitante 15, 435 in. Lbs, el cual necesita dos pernos de acoplamiento en los cojinetes con lo cual se logra que no exista problemas por torsión. Es por ello que en este diseño se utilizará una tubería de cédula 40 con 4" de diámetro. Por otra parte las dimensiones del "cinta de corte" serán las siguientes:

Tabla No. 106. Dimensiones del "cinta seccional" del tornillo transportador.



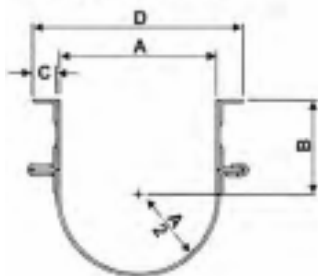
Diámetro del tornillo	Diámetro de acople	Número de parte	Secciones estándar		Tamaño de la tubería		Vuelo		Ancho de cojinete	Pernos de acoplamiento
			Longitud	Peso promedio	Interior	Exterior	Ancho	Espesor		
D			L			F	A	E	C	H
18	3	18SR624	11'9"	384	4	4 1/2	3	3/8	3	3/4 x 5

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Luego de determinar el tipo de tornillo a usar, se procede a determinar qué tipo de tubería se utilizará, en este caso se usará tubería en forma de “U” y con el dispositivo de “caer abajo”, esto para que se logre una limpieza rápida y eficaz si es necesario y así eliminar costos de operación. En la siguiente tabla se observa las dimensiones de la misma tubería “U” y el dispositivo “caer abajo”.

Tabla No. 107. Tubería en forma de “U” con el dispositivo “caer abajo” para el transportador de lodo y cal.



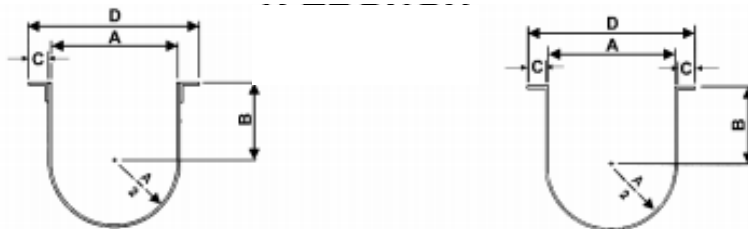
Diámetro del transportador	Espesor	Código	Peso	A	B	C	D
20	¼	20TU3DB	862	21	13 ½	2 ½	26 ½

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Para la parte de descarga del tornillo transportador se escogió de acuerdo a las partes anteriores la siguiente estructura para la descarga del lodo hacia el otro tornillo transportador.

Tabla No. 108. Tubería en forma de “U” para el transportador de cal.



Diámetro del transportador	Espesor	Código	Peso	A	B	C	D
9	¼	9TU3A	281	10	6 1/8	1 ½	13 ½

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Para este transportador se utilizara un tubería en forma de “U” estándar de brida con ángulo.

Tabla No. 109. Sección de descarga del tornillo transportador.



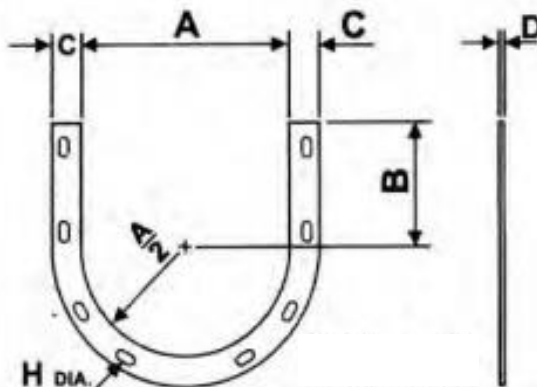
Diámetro del transportador	A	Estándar descarga	C
9	10	8	7 1/8
20	21	15 1/2	13 3/8

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

También es necesario determinar el tipo de bridas para unir las secciones del transportador es por ello que de la tabla siguiente se determinó las dimensiones que tendrán las bridas.

Tabla No. 110. Dimensiones de las bridas a utilizar en forma de “U”.



Diámetro del transportador	Código	A		B	C	D	H	Peso
		THRU 10 GA	3/16 – 1/4					
9	9EF-U	10 1/4	10 1/2	6 1/8	1 11/16	1/4	3/8	2.4
20	20EF-U	25 1/4	21 1/2	13 1/2	2 1/2	1/4	3/8	11.5

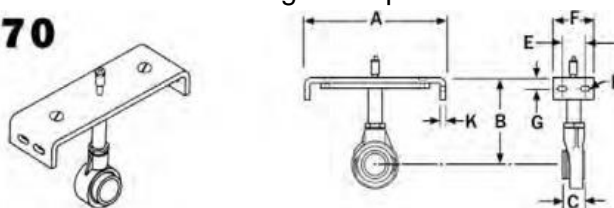
(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Los ganchos y el cobertor para el tornillo transportador son importantes ya que son piezas necesarias para el diseño del mismo al observar la Tabla No. 113 y Tabla No. 114 en las cuales se determinan las dimensiones de los ganchos tanto como de la cubierta del tornillos transportador respectivamente.

Tabla No. 111. Dimensionamiento de un gancho para tornillos transportadores.

No. 270

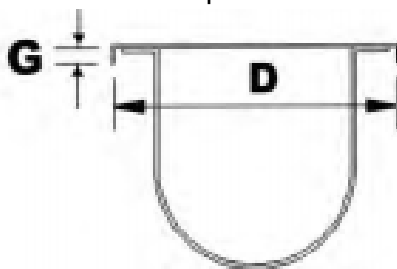


Diámetro del transportador	Código	Diámetro del eje	A	B	C	D	E	F	G	H	K	Peso
9	9SH2704	2	10	6 1/8	2	13 1/2	2 1/2	4	1	3/8	1/4	8
20	20SH2707	3 7/16	21	13 1/2	4	26 1/2	3 1/2	5	1 5/8	5/8	3/4	52

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Tabla No. 112. Dimensionamiento para el cobertor del tornillo transportador.



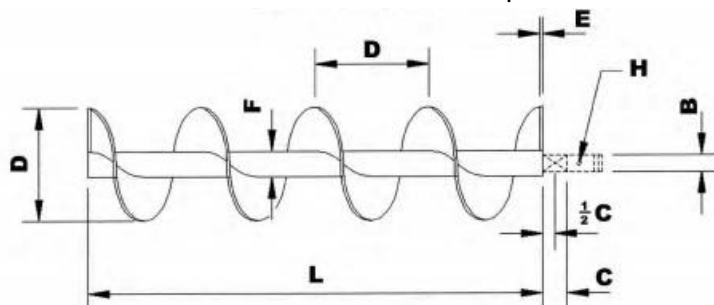
Diámetro del transportador	Ancho del cobertor	Código	Peso por longitud	D	G
9	16	9SCF16	32	13 3/8	1/2
20	14	20SCF14	90	26 1/2	1/2

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

De la misma manera se escogió las dimensiones para los componentes de cada transportador para la cal y el transportador hacia el patio de secado.

Tabla No. 113. Dimensiones del transportador de cal.

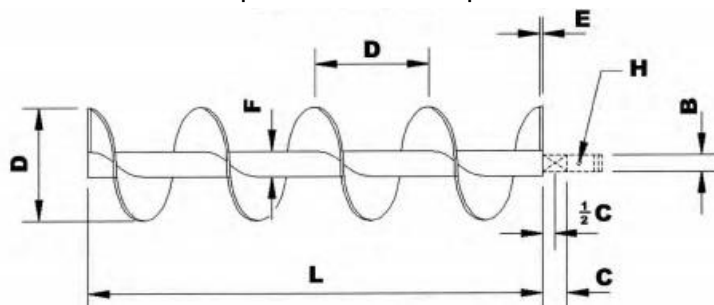


Diámetro del tornillo	Diámetro de acople	Número de parte	Secciones estándar		Espesor del vuelo	Tamaño de tubería		Ancho de cojinete	Pernos de acoplamiento
			Longitud	Peso promedio		Interior	Exterior		
D			L		E	*	F	C	H
9	2	9S416	9'10"	124	1/4	2 1/2	2 7/8	2	5/8 X 3/8

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

Tabla No. 114. Dimensiones del transportador hacia el patio de secado con inclinación de 20°.



Diámetro del tornillo	Diámetro de acople	Número de parte	Secciones estándar		Espesor del vuelo	Tamaño de tubería		Ancho de cojinete	Pernos de acoplamiento
			Longitud	Peso promedio		Interior	Exterior		
D			L		E	*	F	C	H
20	3	20S616	11'9"	206	1/4	3 1/2	4	3	3/4 X 5/2

(<http://www.conveyusa.com/Screw-Conveyor-Catalog.pdf>)

*Nota: Unidades en pulgadas debido a que las tablas funcionan únicamente en sistema inglés.

La primera tolva que se encontrará entre el filtro banda y el primer tornillo transportador se diseñó para que se mantenga el mismo flujo que sale del filtro banda al tornillo que es de 19.74 kg/s, para ello se diseñó del mismo ancho del filtro banda que es el largo de la tolva, con 65 cm de ancho en la parte superior, con 45 cm en la parte inferior de ancho y de altura de 50 cm, la ilustración 45 se puede observar la vista de lado y desde arriba de la primera tolva. Para la segunda tolva se utilizara 50 cm de ancho en la parte superior, con 40 cm en la parte inferior de ancho, largo de 50 cm y una altura de 20 cm. La ilustración 45 y 46 muestra la vista de lado y desde arriba de la primera y segunda tolva.

Figura No. 45. Dimensionamiento de la primera tolva.

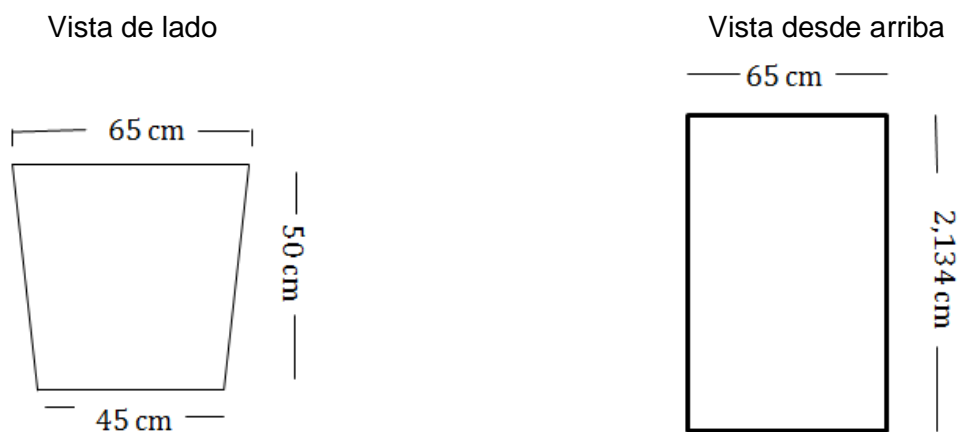
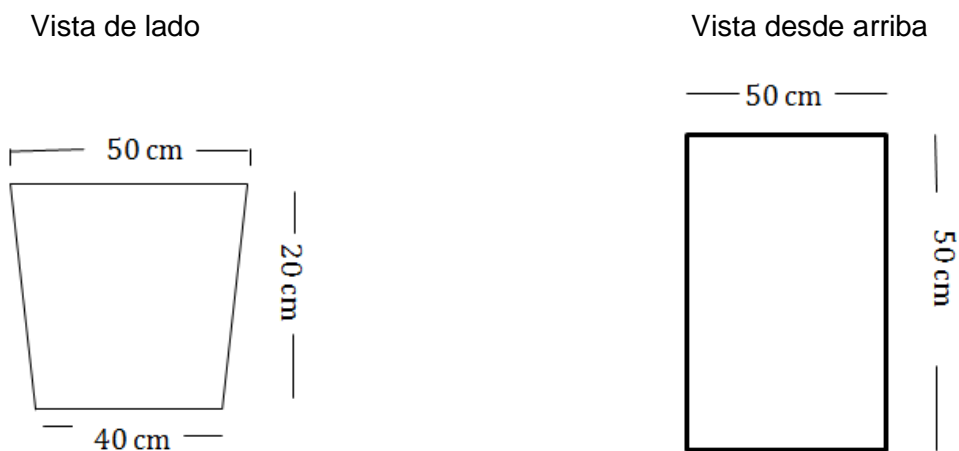


Figura No. 46. Dimensionamiento de la segunda tolva.



14. Cálculo de las dimensiones del silo y la tolva para almacenar la cal. Para este cálculo se asumió una que la altura es 4 el radio para determinar el diámetro del silo.

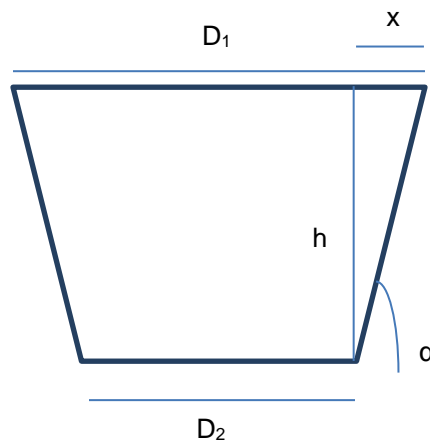
$$r = \sqrt{\frac{V}{4\pi}} = \sqrt{\frac{(3.06m^3)}{4\pi}} = 0.624m = d = 1.248m$$

Por lo tanto la altura del silo es de dos veces el diámetro, obteniendo una altura de $2d = 2.496 m$, con un material de construcción de hierro fundido para evitar problemas de reacción entre la cal y el silo.

Cálculo 14.1: Determinación de la altura de la tolva para el silo.

Para este cálculo se utilizó una tolva cónica truncada la cual tendrá un diámetro igual al silo de 1.248 m con un ángulo de 70° y espesor de 0.0047 m (3/16) de pulgada, con estos valores se determinó lo que es la altura correspondiente de la tolva es:

- El diámetro 1 será el mismo que el del silo.
- El diámetro 2 será del tamaño del tornillo transportador a utilizar con un poco menos para evitar derramar material en los lados del tornillo transportador.



$D_1 = 1.248m$; $D_2 = 0.2159 m$

$$V_{\text{Cono truncado}} = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2)$$

Ecuación 51(Janssen, 1998)

A partir del esquema de un cono truncado es necesario determinar la sección del triángulo rectángulo para conocer la altura de la tolva. Por lo tanto:

$$\tan(90^\circ - 70^\circ) = \frac{\frac{1.248-0.2159}{2}}{h} = h = 1.418m$$

$$V_{\text{Cono truncado}} = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2) = \frac{1}{3}\pi(1.418)(0.624^2 + 0.10795^2 + (0.624 * 0.10795))$$

$$= 0.668\text{m}^3$$

Se determinó que la altura de la tolva es de un 1.418 metros con un diámetro de descarga de 0.2159 (8.5 in) metros hacia el transportador que tiene un tubería de 0.2286 (9 in) metros, la longitud de este transportador es de 2 metros el cual alimenta al primer transportador de tornillo sin fin en donde se da la mezcla de lodo con cal y luego es transportado hacia un patio de secado. El volumen total del silo más el de la tolva es de 3.728 m³, lo cual representa que el 21.8% del volumen del silo se encuentra en la tolva, dejando así espacio libre en el silo en vez de estar lleno.

C. Datos calculados

1. Datos calculados para el estudio de tiempos en el proceso de floculación.

Tabla No. 115. Estudio de tiempos en el primer tramo de los floculadores.

Número de observación	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m ³ /s]
1	12.72	3.54	0.28	27.83	0.24
2	9.04	3.54	0.39	39.16	0.33
3	10.36	3.54	0.34	34.17	0.29
4	8.31	3.54	0.43	42.60	0.36
5	9.53	3.54	0.37	37.15	0.32
6	9.79	3.54	0.36	36.16	0.31
7	8.8	3.54	0.40	40.23	0.34
8	9.23	3.54	0.38	38.35	0.33
9	9.62	3.54	0.37	36.80	0.31
10	9.26	3.54	0.38	38.23	0.33
11	7.3	3.54	0.48	48.49	0.41
12	10.13	3.54	0.35	34.95	0.30
13	11.99	3.54	0.30	29.52	0.25
14	9.38	3.54	0.38	37.74	0.32
15	10.56	3.54	0.34	33.52	0.29
16	9.22	3.54	0.38	38.39	0.33
17	8.44	3.54	0.42	41.94	0.36
18	6.45	3.54	0.55	54.88	0.47
19	6.78	3.54	0.52	52.21	0.44
20	9.76	3.54	0.36	36.27	0.31
21	10.38	3.54	0.34	34.10	0.29
22	6.79	3.54	0.52	52.14	0.44
23	7.85	3.54	0.45	45.10	0.38
24	8.78	3.54	0.40	40.32	0.34
25	6.77	3.54	0.52	52.29	0.44
26	8.3	3.54	0.43	42.65	0.36
27	10.06	3.54	0.35	35.19	0.30
28	10.05	3.54	0.35	35.22	0.30
29	12.14	3.54	0.29	29.16	0.25
30	10.45	3.54	0.34	33.88	0.29
31	7.3	3.54	0.48	48.49	0.41
32	10.21	3.54	0.35	34.67	0.30
33	12.57	3.54	0.28	28.16	0.24
PROMEDIO	9.34	3.54	0.39	39.09	0.33

Caudal [m³/s] 0.33
Caudal [L/s] 332.66

Tabla No. 116. Estudios de tiempos en el segundo tramo de los floculadores.

Número de observación	Tiempo [s]	Distancia [m]	Velocidad promedio [m/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Caudal [m ³ /s]
1	42.16	3.54	0.08	8.40	0.19
2	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
3	40.16	3.54	0.09	8.81	0.20
4	50.12	3.54	0.07	7.06	0.16
5	27.13	3.54	0.13	13.05	0.30
6	45.52	3.54	0.08	7.78	0.18
7	36.87	3.54	0.10	9.60	0.22
8	49.18	3.54	0.07	7.20	0.16
9	25.26	3.54	0.14	14.01	0.32
10	41.23	3.54	0.09	8.59	0.20
11	48.35	3.54	0.07	7.32	0.17
12	41.12	3.54	0.09	8.61	0.20
13	51.15	3.54	0.07	6.92	0.16
14	44.21	3.54	0.08	8.01	0.18
15	40.23	3.54	0.09	8.80	0.20
16	38.12	3.54	0.09	9.29	0.21
17	44.26	3.54	0.08	8.00	0.18
18	35.47	3.54	0.10	9.98	0.23
19	44.28	3.54	0.08	7.99	0.18
20	42.13	3.54	0.08	8.40	0.19
21	38.52	3.54	0.09	9.19	0.21
22	41.36	3.54	0.09	8.56	0.19
23	29.1	3.54	0.12	12.16	0.28
24	43.17	3.54	0.08	8.20	0.19
25	40.13	3.54	0.09	8.82	0.20
26	41.2	3.54	0.09	8.59	0.20
27	41.05	3.54	0.09	8.62	0.20
28	35.44	3.54	0.10	9.99	0.23
29	42.24	3.54	0.08	8.38	0.19
30	52.15	3.54	0.07	6.79	0.15
31	37.52	3.54	0.09	9.43	0.21
32	48.31	3.54	0.07	7.33	0.17
33	36.15	3.54	0.10	9.79	0.22
PROMEDIO	40.95	3.54	0.09	8.88	0.20

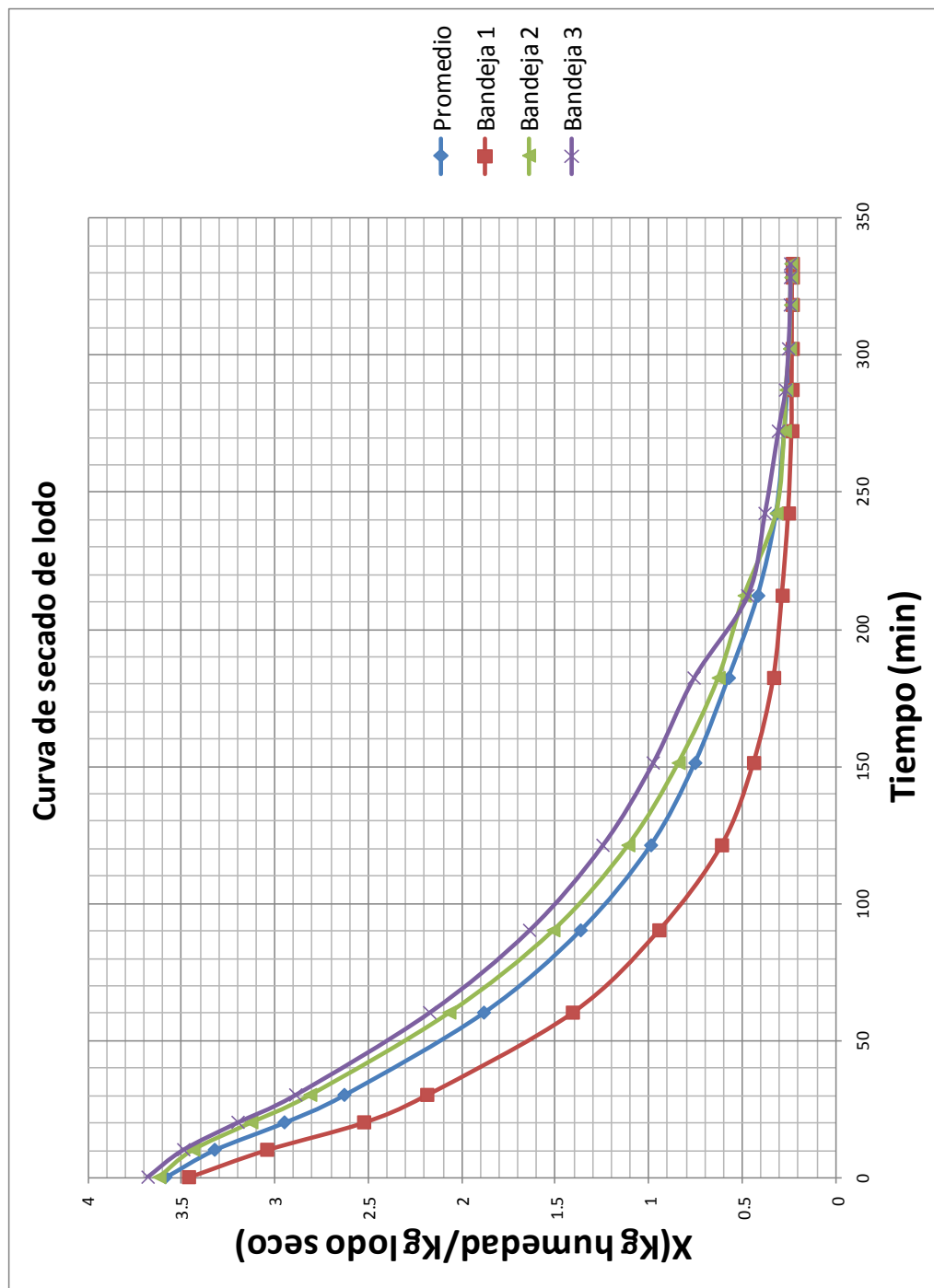
Caudal [m ³ /s]	0.20
Caudal [L/s]	202.02

Datos calculados para la determinación de la curva de rapidez de secado.

Tabla No. 117. Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 7 de junio del 2012.

Tiempo [min]			X [kg humedad/Kg lodo seco]			N [Kg/m ² *min]		
0.00	±	0.01	3.589	±	0.113	0.0021	±	0.0013
10.00	±	0.01	3.325	±	0.244	0.0035	±	0.0018
20.00	±	0.01	2.952	±	0.371	0.0035	±	0.0010
30.00	±	0.01	2.632	±	0.386	0.0038	±	0.0013
60.00	±	0.01	1.885	±	0.415	0.0040	±	0.0010
90.00	±	0.01	1.367	±	0.370	0.0041	±	0.0011
121.00	±	0.01	0.991	±	0.335	0.0035	±	0.0005
151.00	±	0.01	0.755	±	0.280	0.0031	±	0.0005
182.00	±	0.01	0.575	±	0.219	0.0033	±	0.0020
212.00	±	0.01	0.418	±	0.113	0.0027	±	0.0019
242.00	±	0.01	0.318	±	0.064	0.0013	±	0.0007
272.00	±	0.01	0.274	±	0.037	0.0009	±	0.0011
287.00	±	0.01	0.258	±	0.020	0.0008	±	0.0006
302.00	±	0.01	0.246	±	0.011	0.0003	±	0.0003
318.00	±	0.01	0.241	±	0.007	0.0001	±	0.0001
328.00	±	0.01	0.240	±	0.006	0.0000	±	0.0000
333.00	±	0.01	0.240	±	0.006	-0.0009	±	0.0000

Gráfica No. 3. Curva de secado de lodos para la experimentación del 7 de junio del 2012.



Gráfica No. 4. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 7 de junio del 2012.

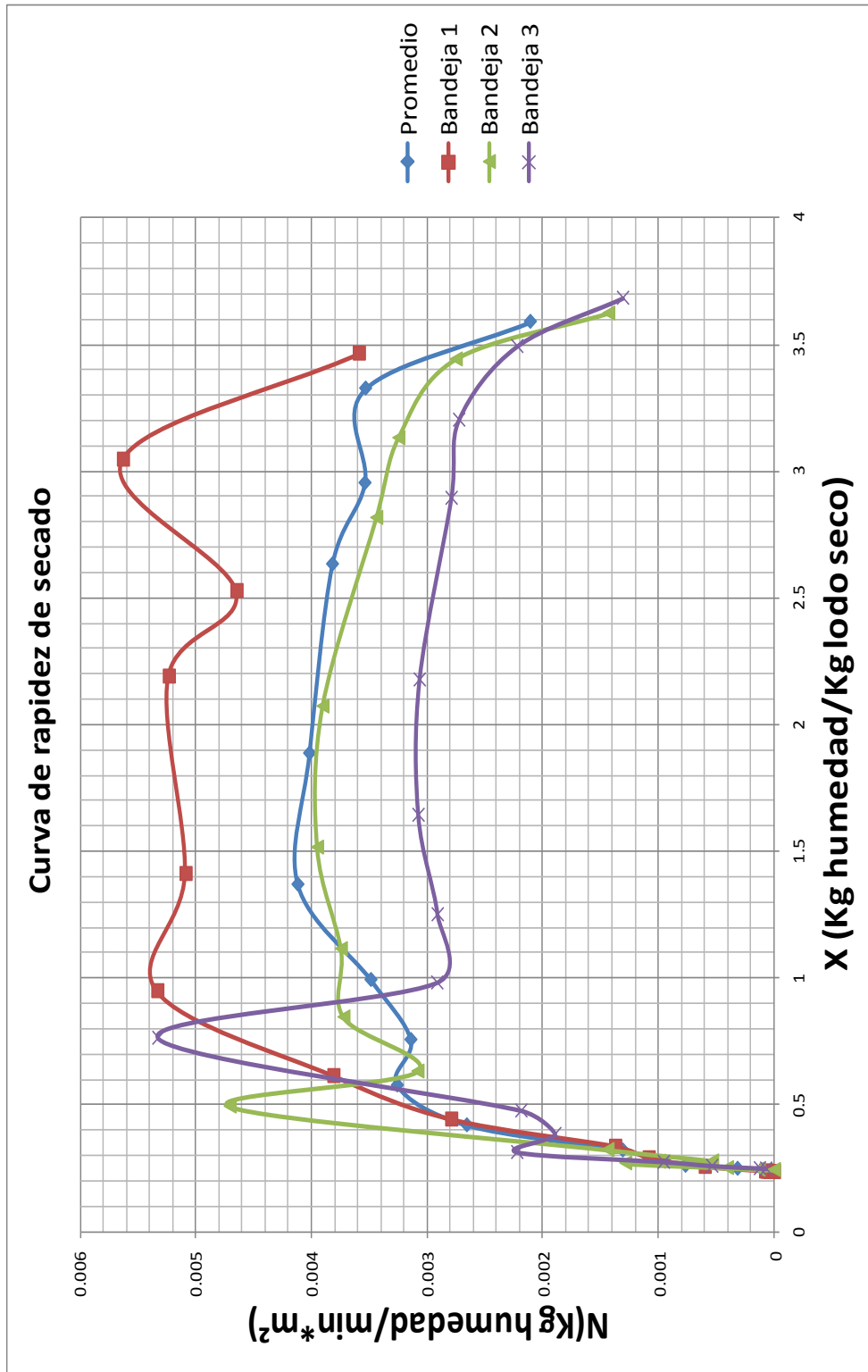


Tabla No. 118. Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 12 de junio del 2012.

Tiempo [min]			X [kg humedad/Kg lodo seco]			N [Kg/m ² *min]		
0.00	±	0.01	3.730	±	0.074	0.0012	±	0.0007
12.00	±	0.01	3.551	±	0.156	0.0022	±	0.0013
20.00	±	0.01	3.328	±	0.104	0.0025	±	0.0016
30.00	±	0.01	3.081	±	0.101	0.0030	±	0.0017
60.00	±	0.01	2.357	±	0.142	0.0041	±	0.0025
90.00	±	0.01	1.711	±	0.215	0.0035	±	0.0021
120.00	±	0.01	1.331	±	0.226	0.0041	±	0.0023
150.00	±	0.01	1.000	±	0.222	0.0039	±	0.0021
180.00	±	0.01	0.763	±	0.209	0.0040	±	0.0018
210.00	±	0.01	0.566	±	0.182	0.0032	±	0.0011
240.00	±	0.01	0.434	±	0.147	0.0023	±	0.0005
270.00	±	0.01	0.340	±	0.096	0.0011	±	0.0012
300.00	±	0.01	0.292	±	0.049	0.0008	±	0.0008
330.00	±	0.01	0.263	±	0.017	0.0007	±	0.0007
340.00	±	0.01	0.255	±	0.009	0.0002	±	0.0004
350.00	±	0.01	0.252	±	0.006	-0.0005	±	0.0009
360.00	±	0.01	0.084	±	0.146	-0.0003	±	0.0005

Gráfica No. 5. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 12 de junio del 2012.

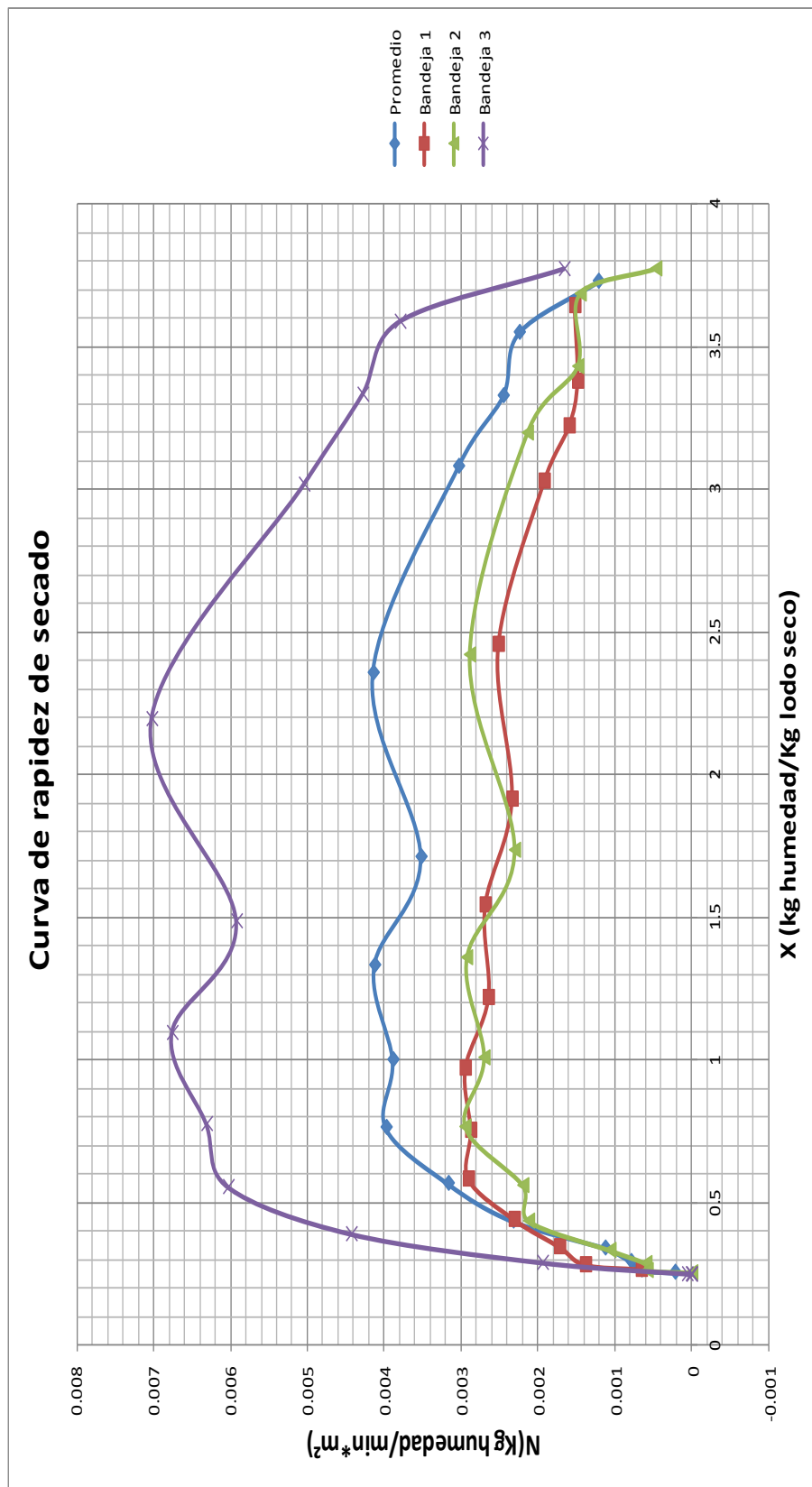
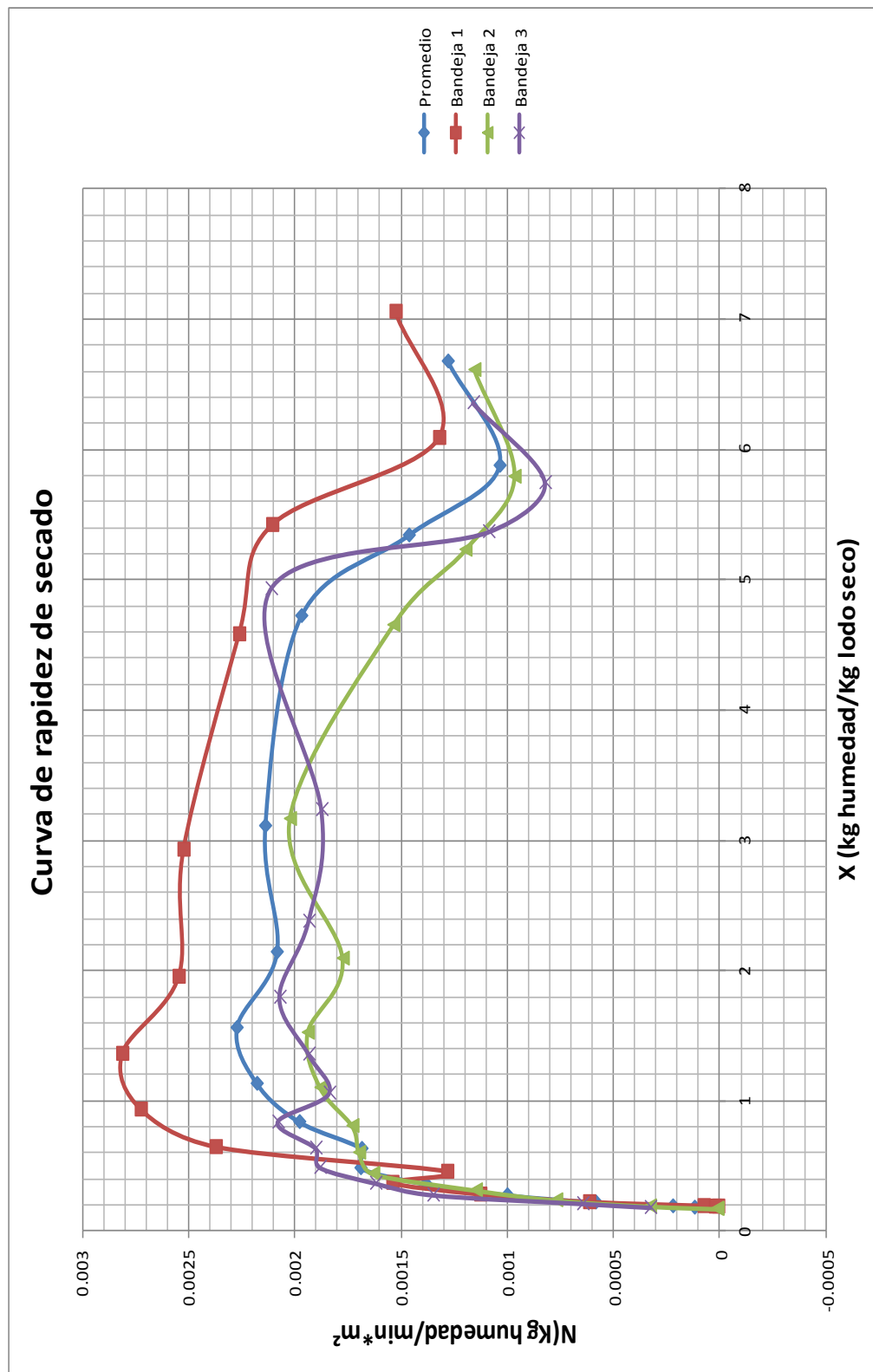


Tabla No. 119. Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 20 de junio del 2012.

Tiempo [min]			X [kg humedad/Kg lodo seco]			N [Kg/m ² *min]		
0	±	0.01	6.674	±	0.353	0.0013	±	0.0002
10	±	0.01	5.874	±	0.186	0.0010	±	0.0003
20	±	0.01	5.338	±	0.099	0.0015	±	0.0006
30	±	0.01	4.720	±	0.185	0.0020	±	0.0004
60	±	0.01	3.108	±	0.161	0.0021	±	0.0003
90	±	0.01	2.139	±	0.217	0.0021	±	0.0004
120	±	0.01	1.558	±	0.220	0.0023	±	0.0005
150	±	0.01	1.129	±	0.215	0.0022	±	0.0005
180	±	0.01	0.835	±	0.209	0.0020	±	0.0003
210	±	0.01	0.630	±	0.193	0.0017	±	0.0004
240	±	0.01	0.481	±	0.138	0.0017	±	0.0002
270	±	0.01	0.359	±	0.112	0.0014	±	0.0004
300	±	0.01	0.274	±	0.080	0.0010	±	0.0005
330	±	0.01	0.218	±	0.050	0.0006	±	0.0007
360	±	0.01	0.188	±	0.020	0.0002	±	0.0004
390	±	0.01	0.178	±	0.009	0.0001	±	0.0002
400	±	0.01	0.176	±	0.009	-0.0002	±	0.0002

Gráfica No.6. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 20 de junio del 2012.



Gráfica No. 6. Curva de secado de lodos para la experimentación del 20 de junio del 2012.

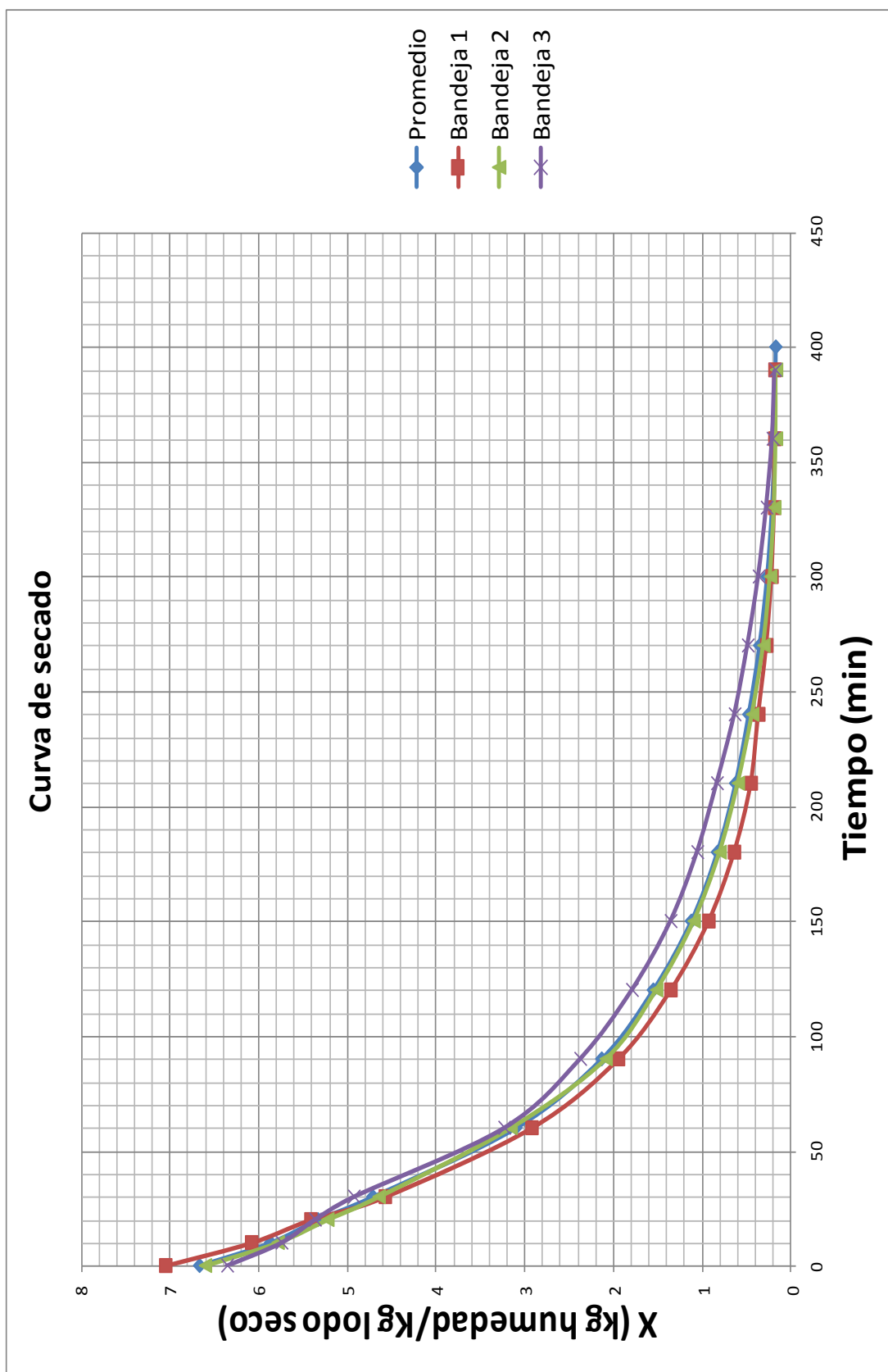
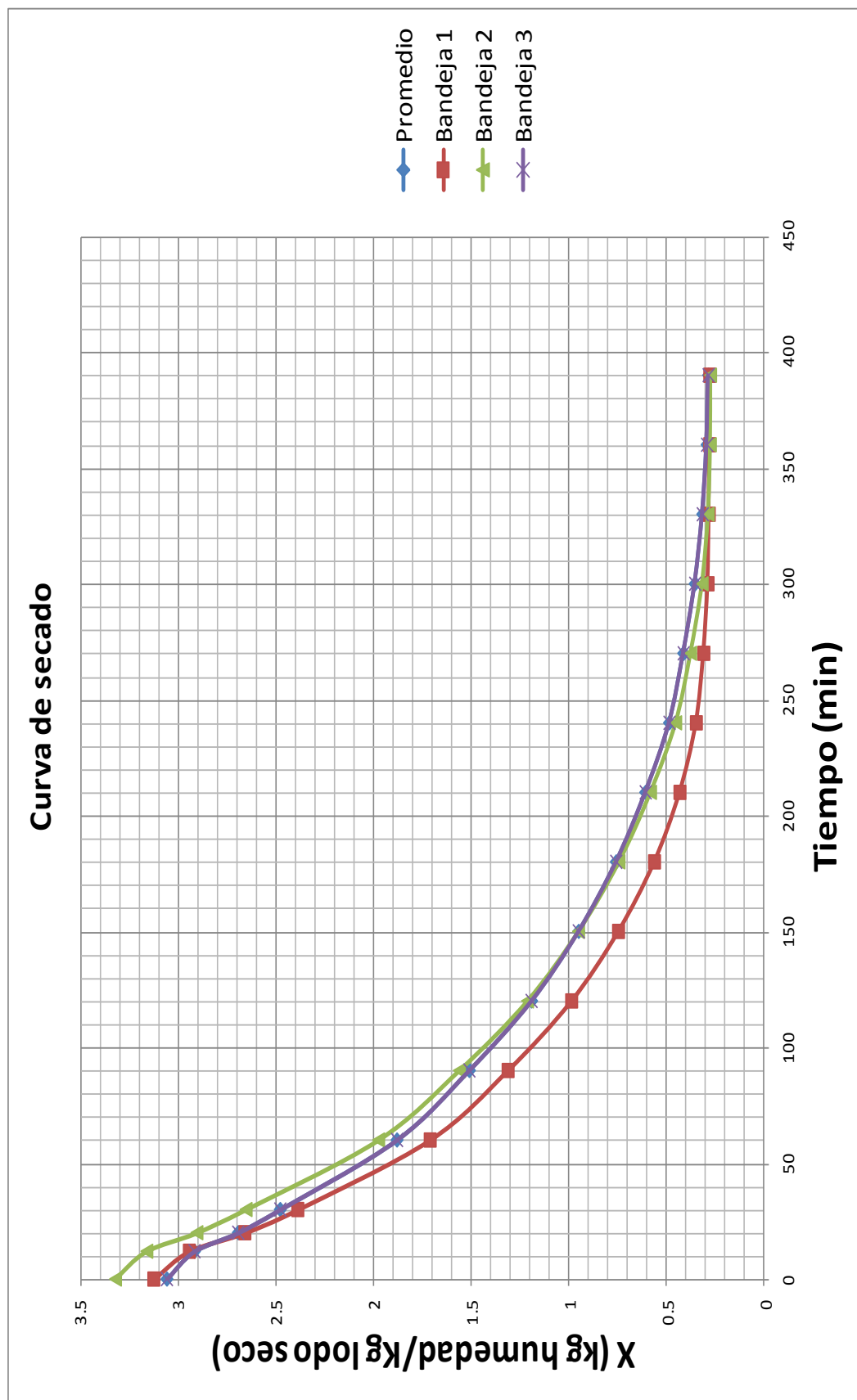


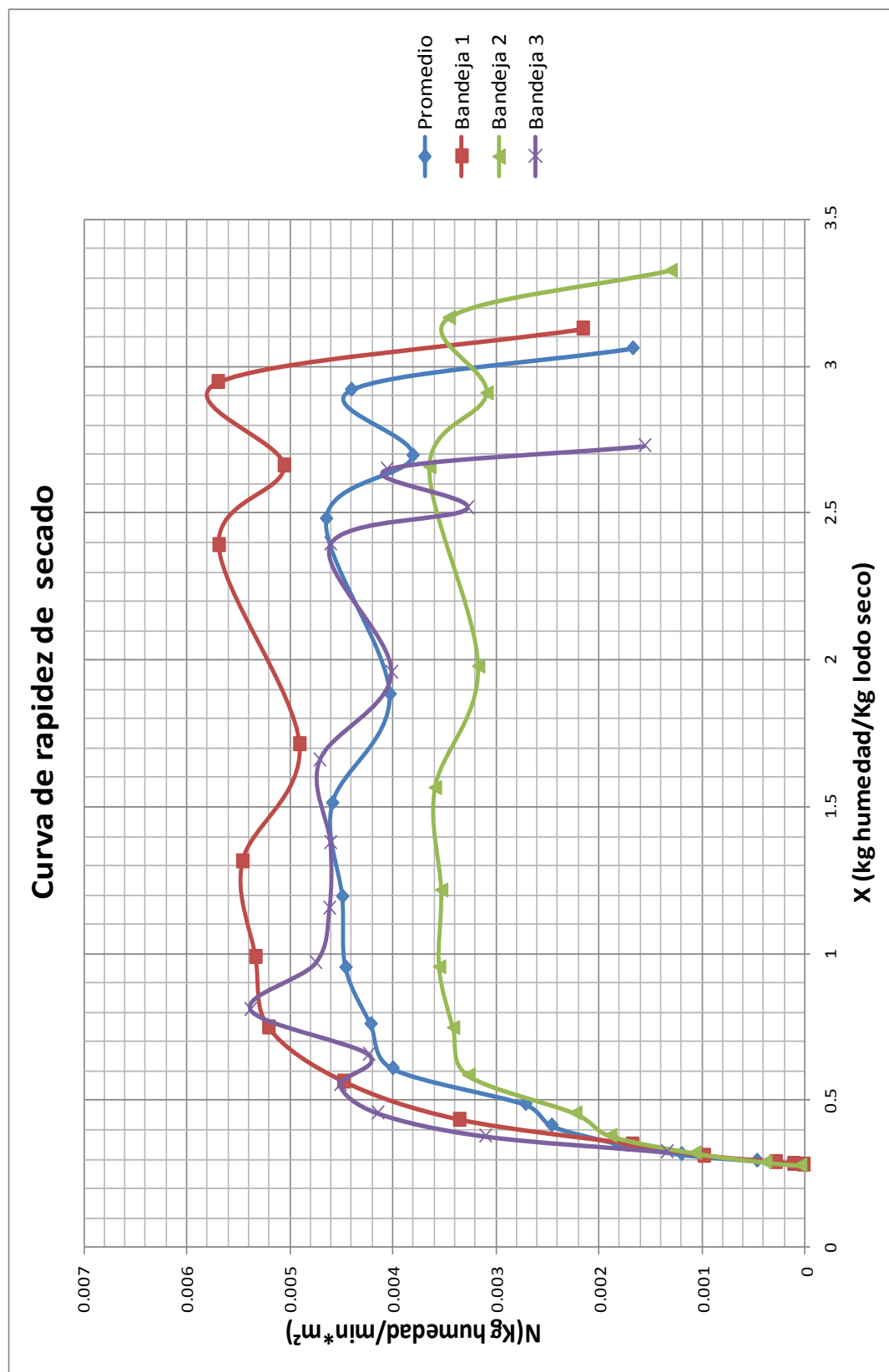
Tabla No. 120. Cálculo de flux de transferencia de masa para el secado del 25 de junio del 2012.

Tiempo [min]			X [kg humedad/Kg lodo seco]			N [Kg/m ² *min]		
0.00	±	0.01	3.060	±	0.303	0.0017	±	0.0004
12.00	±	0.01	2.919	±	0.258	0.0044	±	0.0012
20.00	±	0.01	2.695	±	0.197	0.0038	±	0.0011
30.00	±	0.01	2.480	±	0.152	0.0046	±	0.0010
60.00	±	0.01	1.882	±	0.147	0.0040	±	0.0009
90.00	±	0.01	1.512	±	0.178	0.0046	±	0.0009
120.00	±	0.01	1.193	±	0.195	0.0045	±	0.0009
150.00	±	0.01	0.952	±	0.203	0.0045	±	0.0008
180.00	±	0.01	0.760	±	0.203	0.0042	±	0.0007
210.00	±	0.01	0.609	±	0.189	0.0040	±	0.0012
240.00	±	0.01	0.487	±	0.156	0.0027	±	0.0013
270.00	±	0.01	0.414	±	0.125	0.0025	±	0.0018
300.00	±	0.01	0.356	±	0.089	0.0018	±	0.0020
330.00	±	0.01	0.317	±	0.053	0.0012	±	0.0017
360.00	±	0.01	0.295	±	0.026	0.0005	±	0.0008
390.00	±	0.01	0.287	±	0.014	-0.0006	±	0.0009

Gráfica No. 8. Curva de secado de lodos para la experimentación del 25 de junio del 2012.



Gráfica No. 9. Curva de rapidez de secado de lodos para la experimentación del 25 de junio del 2012.



2. Datos calculados para la determinación de volumen de agua y sólidos residuales desechados en el proceso de lavado de tanques de sedimentación:

Tabla No. 121. Volumen y caudal de agua obtenido de la manguera de lavado conectada al chorro.

Volumen [m ³]	Caudal [m ³ /h]
0.065 ± 0.057	81.28 ± 0.815
0.101 ± 0.071	93.82 ± 0.941
0.105 ± 0.072	95.50 ± 0.958
Caudal promedio	90.20 ± 7.772

Tabla No. 122. Volumen y caudal de agua obtenido de mangueras pequeñas a presión.

Volumen [m ³]	Caudal [m ³ /h]
0.011 ± 0.023	2.38 ± 0.0716
0.012 ± 0.024	2.53 ± 0.0723
0.010 ± 0.022	2.53 ± 0.0759
Caudal promedio	2.48 ± 0.0859

Tabla No. 123. Caudal que fluye por un agujero de la canaleta y por la canaleta completa.

	Caudal [m ³ /h]
Agujero	6.65 ± 0.0552
Canaleta	997.20 ± 0.446

Tabla No. 124. Agua total utilizada durante el lavado de un tanque desglosado según las formas de lavado utilizadas.

Fecha	Gasto de agua total [m ³]				
	Manguera con motor	Manguera del suministro municipal	Mangueras pequeñas	Válvula de abajo	Canaletas
19-Junio-2012	260.00 ± 0.0168	0.00 ± 0.0000	0.00 ± 0.0000	0.00 ± 0.0000	274.20 ± 0.0364
21-Junio-2012	195.00 ± 0.0169	202.95 ± 0.0863	4.19 ± 0.0351	21.67 ± 1.0011	0.00 ± 0.0000
19-Julio-2012	196.80 ± 0.0169	130.79 ± 0.0864	4.49 ± 0.0351	0.00 ± 0.0000	218.19 ± 0.0457
20-Julio-2012	223.20 ± 0.0169	205.65 ± 0.0863	3.67 ± 0.0353	0.00 ± 0.0000	101.36 ± 0.0984

Tabla No. 125. Promedio de agua utilizada para lavado de tanques.

Fecha	No. de tanque	TOTAL [m ³]
19-Junio-2012	2	534.20 ± 0.0401
21-Junio-2012	4	423.81 ± 1.0055
19-Julio-2012	3	550.27 ± 0.1053
20-Julio-2012	4	533.89 ± 0.1366
	Promedio	510.54 ± 58.3255

Tabla No. 126. Determinación del volumen de lodos a partir de la curva de distribución de altura de los lodos.

Metro del Tanque	Altura de los lodos [±0.05 m]	Espacio a medir	Área del rectángulo [m ²]	Área del triángulo superior [m ²]	Área total [m ²]	Volumen [m ³]
1	0.29	entre:				
2	0.29	1 Y 2	0.29 ± 0.186	0 ± 0	0.29 ± 0.186	4.5 ± 0.643
3	0.29	2 Y 3	0.29 ± 0.186	0 ± 0	0.29 ± 0.186	4.5 ± 0.643
4	0.335	3 Y 4	0.29 ± 0.186	0.023 ± 0.035	0.313 ± 0.19	4.84 ± 0.607
5	0.42	4 Y 5	0.335 ± 0.165	0.043 ± 0.035	0.378 ± 0.169	5.85 ± 0.447
6	0.43	5 Y 6	0.42 ± 0.138	0.005 ± 0.035	0.425 ± 0.143	6.59 ± 0.336
7	0.48	6 Y 7	0.43 ± 0.136	0.025 ± 0.035	0.455 ± 0.141	7.05 ± 0.309
8	0.49	7 Y 8	0.48 ± 0.126	0.005 ± 0.035	0.485 ± 0.131	7.52 ± 0.27
9	0.55	8 Y 9	0.49 ± 0.124	0.03 ± 0.035	0.52 ± 0.129	8.06 ± 0.248
10	0.59	9 Y 10	0.55 ± 0.115	0.02 ± 0.035	0.57 ± 0.12	8.84 ± 0.211
11	0.62	10 Y 11	0.59 ± 0.11	0.015 ± 0.035	0.605 ± 0.116	9.38 ± 0.192
12	0.69	11 Y 12	0.62 ± 0.107	0.035 ± 0.035	0.655 ± 0.113	10.15 ± 0.172
13	0.69	12 Y 13	0.69 ± 0.101	0 ± 0	0.69 ± 0.101	10.7 ± 0.147
14	0.62	13 Y 14	0.62 ± 0.107	0.035 ± 0.035	0.655 ± 0.113	10.15 ± 0.172
15	0.73	14 Y 15	0.62 ± 0.107	0.055 ± 0.036	0.675 ± 0.113	10.46 ± 0.167
16	0.76	15 Y 16	0.73 ± 0.098	0.015 ± 0.035	0.745 ± 0.105	11.55 ± 0.14
17	0.77	16 Y 17	0.76 ± 0.097	0.005 ± 0.035	0.765 ± 0.103	11.86 ± 0.134
18	0.7	17 Y 18	0.7 ± 0.101	0.035 ± 0.035	0.735 ± 0.107	11.39 ± 0.145
19	0.77	18 Y 19	0.7 ± 0.101	0.035 ± 0.035	0.735 ± 0.107	11.39 ± 0.145
20	0.78	19 Y 20	0.77 ± 0.096	0.005 ± 0.035	0.775 ± 0.102	12.01 ± 0.132
21	0.82	20 Y 21	0.78 ± 0.095	0.02 ± 0.035	0.8 ± 0.102	12.4 ± 0.127
22	0.9	21 Y 22	0.82 ± 0.093	0.04 ± 0.035	0.86 ± 0.1	13.33 ± 0.116
23	0.95	22 Y 23	0.9 ± 0.09	0.025 ± 0.035	0.925 ± 0.097	14.34 ± 0.105
24	0.99	23 Y 24	0.95 ± 0.088	0.02 ± 0.035	0.97 ± 0.095	15.04 ± 0.098
25	1	24 Y 25	0.99 ± 0.087	0.005 ± 0.035	0.995 ± 0.094	15.42 ± 0.094
26	1.06	25 Y 26	1 ± 0.087	0.03 ± 0.035	1.03 ± 0.094	15.97 ± 0.091
27	1.14	26 Y 27	1.06 ± 0.085	0.04 ± 0.035	1.1 ± 0.092	17.05 ± 0.084
28	1.2	27 Y 28	1.14 ± 0.083	0.03 ± 0.035	1.17 ± 0.09	18.14 ± 0.077
29	1.21	28 Y 29	1.2 ± 0.082	0.005 ± 0.035	1.205 ± 0.089	18.68 ± 0.074
30	1.3	29 Y 30	1.21 ± 0.082	0.045 ± 0.035	1.255 ± 0.089	19.45 ± 0.071
31	1.33	30 Y 31	1.3 ± 0.08	0.015 ± 0.035	1.315 ± 0.088	20.38 ± 0.067
32	1.46	31 Y 32	1.33 ± 0.08	0.065 ± 0.036	1.395 ± 0.088	21.62 ± 0.063
33	1.48	32 Y 33	1.46 ± 0.079	0.01 ± 0.035	1.47 ± 0.086	22.79 ± 0.059
34	1.48	33 Y 34	1.48 ± 0.078	0 ± 0	1.48 ± 0.078	22.94 ± 0.053
35	1.5	34 Y 35	1.48 ± 0.078	0.01 ± 0.035	1.49 ± 0.086	23.1 ± 0.058
36	1.54	35 Y 36	1.5 ± 0.078	0.02 ± 0.035	1.52 ± 0.086	23.56 ± 0.057

Tabla No. 127. Determinación del volumen de lodos a partir de la curva de distribución de altura de los lodos (Cont.).

Metro del Tanque	Altura de los lodos [± 0.05 m]	Espacio a medir	Área del rectángulo [m^2]	Área del triángulo superior [m^2]	Área total [m^2]	Volumen [m^3]
37	1.87	36 Y 37	1.54 \pm 0.078	0.165 \pm 0.037	1.705 \pm 0.086	26.43 \pm 0.051
38	1.89	37 Y 38	1.87 \pm 0.076	0.01 \pm 0.035	1.88 \pm 0.083	29.14 \pm 0.045
39	1.72	38 Y 39	1.72 \pm 0.076	0.085 \pm 0.036	1.805 \pm 0.084	27.98 \pm 0.047
40	1.74	39 Y 40	1.72 \pm 0.076	0.01 \pm 0.035	1.73 \pm 0.084	26.82 \pm 0.049
41	1.75	40 Y 41	1.74 \pm 0.076	0.005 \pm 0.035	1.745 \pm 0.084	27.05 \pm 0.048
42	1.78	41 Y 42	1.75 \pm 0.076	0.015 \pm 0.035	1.765 \pm 0.084	27.36 \pm 0.048
43	1.9	42 Y 43	1.78 \pm 0.076	0.06 \pm 0.036	1.84 \pm 0.084	28.52 \pm 0.046
44	2	43 Y 44	1.9 \pm 0.075	0.05 \pm 0.036	1.95 \pm 0.083	30.23 \pm 0.043
45	2	44 Y 45	2 \pm 0.075	0 \pm 0	2 \pm 0.075	31 \pm 0.038
46	2.1	45 Y 46	2 \pm 0.075	0.05 \pm 0.036	2.05 \pm 0.083	31.78 \pm 0.041
47	2.1	46 Y 47	2.1 \pm 0.075	0 \pm 0	2.1 \pm 0.075	32.55 \pm 0.036
48	2.05	47 Y 48	2.05 \pm 0.075	0.025 \pm 0.035	2.075 \pm 0.083	32.16 \pm 0.04
49	2.05	48 Y 49	2.05 \pm 0.075	0 \pm 0	2.05 \pm 0.075	31.78 \pm 0.037
50	2	49 Y 50	2 \pm 0.075	0.025 \pm 0.035	2.025 \pm 0.083	31.39 \pm 0.041
51	1.95	50 Y 51	1.95 \pm 0.075	0.025 \pm 0.035	1.975 \pm 0.083	30.61 \pm 0.042
52	1.92	51 Y 52	1.92 \pm 0.075	0.015 \pm 0.035	1.935 \pm 0.083	29.99 \pm 0.043
53	1.86	52 Y 53	1.86 \pm 0.076	0.03 \pm 0.035	1.89 \pm 0.084	29.3 \pm 0.044
54	1.71	53 Y 54	1.71 \pm 0.077	0.075 \pm 0.036	1.785 \pm 0.084	27.67 \pm 0.047
55	1.59	54 Y 55	1.59 \pm 0.077	0.06 \pm 0.036	1.65 \pm 0.085	25.58 \pm 0.052
56	1.42	55 Y 56	1.42 \pm 0.079	0.085 \pm 0.036	1.505 \pm 0.087	23.33 \pm 0.058
57	1.1	56 Y 57	1.1 \pm 0.084	0.16 \pm 0.037	1.26 \pm 0.092	19.53 \pm 0.073
58	1.04	57 Y 58	1.04 \pm 0.086	0.03 \pm 0.035	1.07 \pm 0.093	16.59 \pm 0.087
TOTAL						1077.72 \pm 1.4802

Tabla No. 128. Volumen de cada componente químico presente en los lodos residuales de un tanque de sedimentación.

Compuesto químico	% p/p [±0.01 %]	Masa de compuesto en tanque [kg]	Densidad [kg/m ³]	Volumen del compuesto en tanque [m ³]
SiO ₂	50.56	850036.6 ± 943.863	2220	382.90 ± 0.4588
Fe ₂ O ₃	4.3	72293.5 ± 185.756	5250	13.77 ± 0.0355
Al ₂ O ₃	19.39	325993.1 ± 393.872	3970	82.11 ± 0.1013
CaO	1.76	29589.9 ± 171.205	3350	8.83 ± 0.0512
MgO	0	0.0 ± 0.000	0.0	0.00 ± 0.0000
K ₂ O	1.98	33288.6 ± 172.014	2350	14.17 ± 0.0734
Na ₂ O	2.1	35306.1 ± 172.493	2270	15.55 ± 0.0763
SO ₃	0	0.0 ± 0.000	0.0	0.00 ± 0.0000
P ₂ O ₅	0.51	8574.3 ± 168.385	2390	3.59 ± 0.0705
TiO ₂	0.43	7229.3 ± 168.310	4230	1.71 ± 0.0398
Cr ₂ O ₃	0.05	840.6 ± 168.127	5220	0.16 ± 0.0322
MnO	0.18	3026.2 ± 168.157	5030	0.60 ± 0.0334
Compuestos orgánicos	18.65	313551.9 ± 381.623		

Tabla No. 129. Cantidad total de efluentes anuales producidos.

Efluente	Volumen [m ³]
Lodos	94839
Agua clarificada	164389
Agua de lavado	44927
TOTAL	304155

D. Análisis de error

1. Determinación del error por el promedio. El ejemplo se realizará para la determinación del valor de flux de secado constante.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 52 (Skoog, 2005)

$$s = \sqrt{\frac{3 * (0.0034 - 0.0035)^2 + 3 * (0.0036 - 0.0035)^2}{6 - 1}}$$

$$s = 0.0001$$

2. Determinación del error por multiplicación y división. El ejemplo se realizará para la determinación de la fracción masa para la bandeja 1 en el secado del 7 de junio del 2012.

$$\frac{s_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2}$$

Ecuación 53 (Skoog, 2005)

$$s_y = 3.46 * \sqrt{2 * \left(\frac{0.03}{77.59}\right)^2}$$

$$s_y = 0.09$$

3. Determinación del error debido a la suma. El ejemplo se realizará para la determinación del tiempo total para el secado por medio de convección.

$$S_y = \sqrt{S_a + S_b + \dots + S_n}$$

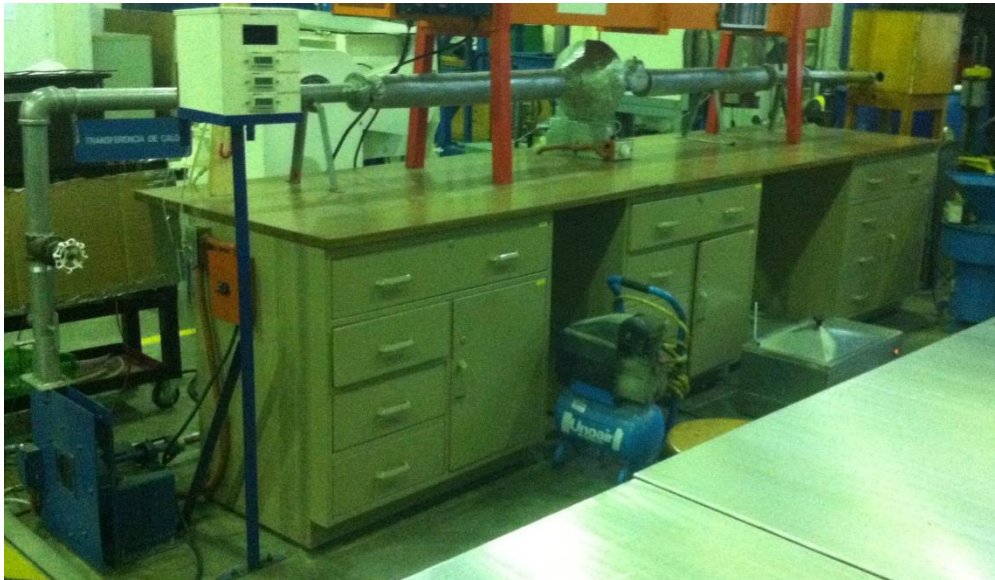
Ecuación 54 (Skoog, 2005)

XV. APÉNDICE 2

A. Procedimientos experimentales.

1. Procedimiento experimental para determinar el flux de calor del lodo. El proceso para conocer el valor de la rapidez de secado se determina suspendiendo una muestra en un gabinete y permitiéndole una corriente de aire. La experimentación se realizó en el túnel de intercambio de calor para aire ubicado en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad Del Valle de Guatemala. A este sistema se le incorporó un gabinete con empaques para permitir únicamente una salida de aire. El sistema se puede observar en la Figura No. 47 y Figura No. 48.

Figura No. 47. Túnel de intercambio de calor para aire.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Figura No. 48. Gabinete para bandejas de secado.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

Los equipos utilizados para la experimentación fueron:

- Higrómetro
- Anemómetro
- Termómetro
- Amperímetro
- Balanza
- Tres bandejas
- Cronómetro
- Balanza de humedad

A continuación se presentan los pasos seguidos durante la experimentación:

- a. Conectar y encender el soplador del equipo.
- b. Encender la resistencia en la posición de “*High*” para permitir que no se apague durante la corrida.
- c. Permitir un tiempo de aproximadamente 20 minutos para que se establezca la temperatura dentro del sistema.
- d. Determinar temperatura del aire, flujo y humedad.
- e. Pesar las bandejas y etiquetarlas.
- f. Introducir una pequeña muestra en la balanza de humedad y determinar su porcentaje.
- g. Llenar las bandejas con lodo.

- h. Pesar las bandejas.
- i. Introducir las bandejas al gabinete y corroborar que no se escape aire al momento de cerrarlo.
- j. Simultáneamente al paso f, comenzar a tomar el tiempo.
- k. Al llegar a los 10 minutos, parar el tiempo.
- l. Sacar las bandejas una por una y determinar su peso (lo más rápido posible).
- m. Repetir los pasos e-g durante los primeros 30 minutos.
- n. Al concluir los primeros 30 minutos, aumentar el paso 7 a 30 minutos.
- o. Repetir pasos e-g hasta que se observe que no hay un cambio en la masa de las bandejas.
- p. Apagar resistencia.
- q. Luego de 5 minutos de apagada la resistencia, apagar soplador y desconectarlo.
- r. Introducir la muestra final en la balanza de humedad y determinar su porcentaje.

2. Procedimiento para determinar la funcionalidad de la manta y evaluar el tamaño de malla necesario. El filtro se creó con los materiales necesarios para lograr una filtración. La manta que se observa se eligió ya que en una filtración anterior, sí se logró separar el lodo del agua y eliminar el exceso que tenía. El sistema se puede observar en la Figura No. 49.

Figura No. 49. Sistema de filtración para eliminar el exceso de agua en los sólidos residuales.



Fuente: Elaboración propia del autor, 2012

- a. Llenar el recipiente con agua y lodo.
- b. Permitir que se sedimente el lodo.

- c. Colocar el filtro sobre cubetas para recibir el material filtrado como se muestra en la Figura No. 49.
 - d. Posicionar el recipiente con agua y lodo sobre el filtro y destapar la manguera.
 - e. Lavar la cantidad de lodo restante en el recipiente.
 - f. Tomar una muestra y determinar humedad.
 - g. Esperar 15 segundos y repetir paso f.
 - h. Repetir paso 7 para los segundos 15 segundos.
 - i. Esperar una hora y repetir paso f.
 - j. Realizar mediciones hasta llegar al punto de humedad deseado.
3. Procedimiento para determinar la capacidad calorífica de los sólidos secos
- a. Preparación del equipo.
 - b. Se toma de 1 – 1.5 gramos de lodo pulverizado y se fabrica una pastilla.
 - c. Se coloca sobre el crisol de la bomba (la pastilla).
 - d. Se llena con 2 Litros de agua el recipiente, luego se corta un trozo de alambre de ignición de 15 cm y se ata firmemente a los electrodos de la bomba calorimétrica, asegurándose que el alambre toque la pastilla.
 - e. Se cierra la bomba y se presuriza con oxígeno a 20 atmosferas y se introduce en el recipiente con agua en la camisa adiabática.
 - f. Se coloca la tapa de la camisa adiabática y se conecta la faja del motor y los electrodos al sistema.
 - g. Por último se obtienen los datos por medio de un sistema computarizado y nos proporciona la capacidad calorífica del lodo.

Figura No. 50. Equipo para el análisis de la capacidad calorífica.



4. Procedimiento para determinar la viscosidad sólidos húmedos:

- a. Retirar la copa #5 del estuche.
- b. Limpiar la copa y asegurarse que el protector para impedir que el fluido se salga de la copa este colocado.
- c. Llenar la copa del material a medir la viscosidad.
- d. Preparar el cronometro.
- e. Retirar el protector de la copa y medir tiempo de descarga.

5. Procedimiento para determinar la viscosidad sólidos húmedos. Para la elaboración del cubo de lodo se agregó 200 gramos de lodo y 150 mililitros de agua, esto se mezcló y se agregó en un molde que contenía dos cubos y se llenó al ras del molde. Luego se dejó secar durante 28 días y se extrajo del molde para realizar las pruebas de resistencia con el cubo de lodo. Para el cubo de lodo más cemento se procedió a realizar la mezcla en la cual se agregaron 150 gramos de cemento, 50 gramos de lodo y 150 mililitros de agua para tener una proporción de 3:1:1.5 respectivamente, luego del periodo de secado de 28 días se extrajo los cubos y se procedió a realizar la prueba de resistencia con el fin de medir la resistencia a ruptura o esfuerzo último del material elaborado para predeterminar si el material es apto para el uso anteriormente mencionado.

Procedimiento:

- a. Realizar la mezcla de lodo más cemento, o solo lodo.
- b. Pesar el cubo del material.
- c. Anotar el Peso.
- d. Colocar el cubo del material en el equipo de medición de resistencia.
- e. Ajustar el tornillo cilíndrico que tope el cubo del material a realizarle la prueba.
- f. Colocar el medidor en la escala correcta.
- g. Mover la manecilla al sentido de las agujas del reloj para realizar presión en el material.
- h. Al observar la primera ruptura, anotar la carga realizada por el equipo.

6. Procedimiento para determinar los tiempos de floculación. Dentro de las herramientas a utilizar para lograr realizar el estudio con éxito se mencionan las siguientes:

- a. Cronómetro
- b. Cuadro o tabla de tiempos

- c. Cuadro de Observaciones y lapicero
- d. Cámara
- e. Instrumento para la medición (Boya Flotante)

En el caso del instrumento para la medición, la boya flotante, se requiere de un estudio previo. En éste se evalúa la opción de ser un instrumento de medición ideal dado que existen factores que pueden alterar los resultados del estudio. Por ello se requiere lo siguiente:

- a. Caja de plástico: Estas cajas son las que se utilizan para guardar cualquier tipo de objeto, tienen una medida aproximada de 50 cm de largo por 37 de ancho y 28 de profundidad. Su función es ser llenada con agua y simular un caudal en el laboratorio.
- b. Ventilador: El cual simula el aire que toca la superficie de los floculadores.
- c. Anemómetro: Este sirve para ver la velocidad de choque del viento en el agua y verificar que a mayor aire en mph el instrumento se ve afectado.
- d. Pelotas de juego: Dentro de las cuales fueron probadas pelotas de tenis, golf, plásticas y de hule.
- e. Tornillos y tuercas: La función de estos es de servir de contrapeso para que las pelotas se sumerjan en el agua.
- f. Armellas e hilo de pescar: Las cuales son utilizadas para amarrar hilo de pescar y no perder el instrumento de medición.
- g. Pegamento: El cual sirve para ajustar y fijar las armellas en la pelota.

Con los materiales anteriormente mencionados se prosiguió a realizar un instrumento para la medición de caudales.

Tabla No. 130. Pelotas seleccionadas.

Tipo de pelota	Flota	Seleccionada
Tenis	sí	sí
Golf	no	no
Hule	sí	no
Plástica	sí	sí

En este caso se seleccionaron dos pelotas para la realización del instrumento, la pelota de tenis y la pelota clásica plástica. Primero se introdujo agua en el recipiente plástico, este recipiente es un organizador plástico en el cual pueden ser guardados varios artículos. Con la caja plástica se realizó una simulación de canal de agua.

Las dimensiones del recipiente junto con su área transversal son los siguientes:

Tabla No. 131. Dimensiones del recipiente utilizado para elaboración de instrumento.

Área transversal del recipiente [cm ²]	
Largo [cm]	52.50
Ancho [cm]	37.00
Profundidad	27.50
Área	1017.50

En la primera prueba se aplicó aire con un ventilador a 10.8 mph (4.82 m/s), la pelota de tenis sumergida un 50% sin contrapeso, en la segunda aire a 8.5 mph (3.79 m/s) y se obtuvo lo siguiente:

Tabla No. 132. Realización de pruebas con aire a una velocidad de 4.82 m/s.

Observación	Tiempo [s]	Distancia [cm]	Aceleración [cm/s ²]	Velocidad final [cm/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Velocidad promedio [m/s]
1	11.39	52.5	0.81	9.22	4.61	0.05
2	11.17	52.5	0.84	9.40	4.70	0.05
3	12.9	52.5	0.63	8.14	4.07	0.04
4	12.77	52.5	0.64	8.22	4.11	0.04
5	12.31	52.5	0.69	8.53	4.26	0.04
6	12.72	52.5	0.65	8.25	4.13	0.04
7	11.76	52.5	0.76	8.93	4.46	0.04
8	12.38	52.5	0.69	8.48	4.24	0.04
9	14.14	52.5	0.53	7.43	3.71	0.04
10	11.82	52.5	0.75	8.88	4.44	0.04
11	12.98	52.5	0.62	8.09	4.04	0.04
12	12.78	52.5	0.64	8.22	4.11	0.04
13	12.46	52.5	0.68	8.43	4.21	0.04
Promedio	12.43	52.50	0.69	8.48	4.24	0.04

Tabla No. 133. Realización de pruebas con aire a una velocidad de 3.79 m/s.

Observación	Tiempo [s]	Distancia [cm]	Aceleración [cm/s ²]	Velocidad final [cm/s]	Velocidad promedio [cm/s]	Velocidad promedio [m/s]
1	16.35	52.5	0.39	6.42	3.21	0.03
2	16.64	52.5	0.38	6.31	3.16	0.03
3	16.92	52.5	0.37	6.21	3.10	0.03
4	13.76	52.5	0.55	7.63	3.82	0.04
5	14.63	52.5	0.49	7.18	3.59	0.04
6	14.61	52.5	0.49	7.19	3.59	0.04
7	15.52	52.5	0.44	6.77	3.38	0.03
8	14.5	52.5	0.50	7.24	3.62	0.04
9	15.5	52.5	0.44	6.77	3.39	0.03
10	15.4	52.5	0.44	6.82	3.41	0.03
11	14.9	52.5	0.47	7.05	3.52	0.04
12	16.73	52.5	0.38	6.28	3.14	0.03
13	15.5	52.5	0.44	6.77	3.39	0.03
Promedio	15.46	52.50	0.44	6.82	3.41	0.03

Para finalizar con una prueba final con la pelota sumergida al 100% para un resultado satisfactorio donde el aire ya no afecta a la pelota y se pueden obtener datos más certeros.

Para el caso de la pelota de plástico se llenó de agua y se introdujo muy poco aire para que la pelota se mantuviera al borde del agua, obteniendo resultados satisfactorios.

B. Propuesta de acciones inmediatas a tomar para reducir el impacto ambiental actual.

1. Impermeabilización del tanque de sedimentación:

a. Realizar estudio del mejor material de impermeabilización de los tanques de sedimentación. Los factores que se deben considerar son:

- 1) Que el material asegure la menor adhesión de lodos posible.
- 2) Que el material reduzca la acumulación de algas y moho en las paredes del tanque.
- 3) Que el material sea resistente a las condiciones a las que está expuesto el tanque. Condiciones a las que está expuesto el tanque:
 - a) Luz solar.
 - b) Agua.
 - c) Agentes químicos.
 - d) Lodos residuales.

b. Una vez se eligió la mejor opción para impermeabilizar el tanque, realizar un estudio económico para determinar a partir de los recursos que se tengan disponibles cuál es la mejor opción.

2. Estudio del proceso de lavado. Se recomienda realizar la estandarización del proceso de lavado completo. Esta medida permitirá determinar el tiempo óptimo de uso de cada manguera a fin de reducir la cantidad de agua que se utiliza en todo el proceso.

Se pueden tomar en consideración también las siguientes medidas a fin de reducir el uso de agua durante el proceso de lavado.

a. Mangueras de lavado:

- 1) Evaluar la incorporación de una boquilla a las mangueras principales usadas en el lavado de tanques. Con esta medida se busca aumentar la presión entregada por cada manguera, reduciendo la cantidad de agua usada.

b. Remoción manual de lodos:

- 1) Evaluar la posibilidad de incorporar al proceso de lavado de tanques el uso de una pala para la remoción de los lodos.
- 2) Diseñar una pala para remoción manual de lodos que posea las siguientes características:

- a) Liviana.
 - b) Remover la mayor cantidad de lodos posible.
 - c) Fácil de limpiar.
 - d) Fácil de operar. Se puede considerar incorporarle ruedas a la pala.
- 3) El o los operarios que estén a cargo de la remoción de los lodos deberán contar con el siguiente equipo de protección personal:
- a) Mascarilla: el contenido orgánico de los lodos residuales causa que éstos tengan mal olor, la exposición prolongada a los gases producidos pueden causar daños a la salud del operador.
 - b) Guantes: evita que el operador tenga contacto directo con los lodos.
 - c) Botas plásticas altas: evita que el operador tenga contacto directo con los lodos y protege la ropa del operador.

C. Análisis de propuesta a implementar a partir de la TMAR.

La propuesta a implementar, luego de haber evaluado la situación actual de la empresa de tratamientos de agua, es el de recuperar la mayor cantidad posible de agua y un porcentaje de lodos para la elaboración de una planta de secados. El agua recuperada será un beneficio para la planta de tratamientos de agua dado que es dinero recuperado y el lodo será procesado con agregados para generar un producto de él. El producto generado podrá ser vendido luego por EMPAGUA como un añadido a la agricultura o jardinería.

A partir de la cantidad de nutrientes que aporte el producto final se podrá realizar una comparación con producto local, para ver el tema del precio del producto y ver los posibles ingresos de la nueva planta.

Por ello es necesario de la evaluación financiera, dado que se necesita de una inversión inicial para el proyecto. Con esta evaluación se podrán determinar flujos de efectivo neto, según lo implementado, para poder ver la rentabilidad de la empresa bajo el criterio de una tasa mínima atractiva de rendimiento.

Para este proyecto se tomará en cuenta una TMAR (Tasa mínima atractiva de rendimiento) del 16%, dado que es un proyecto de riesgo medio. Se ha catalogado así porque la aceptación de los clientes ante el producto final no se sabe aún, es un producto que no se ha dado a conocer y los clientes no conocen su eficiencia. Las tasas bancarias pueden ser involucradas también para la tasa mínima atractiva de rendimiento, así como lo que se estima ganar con la inversión. (Tarquin, 2006)

Tabla No. 134. Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR).

Riesgo del Proyecto	3%
Tasa Bancaria	5%
Ganancia de la Inversión	8%
Total TMAR	16%

En el caso de la Inversión Inicial es necesaria la cotización de toda la maquinaria a implementar para la construcción de la planta nueva de secados y empacado de lodos tratados. La lista de precios cotizados para la evaluación del proyecto puede ser vista en el anexo de "Lista de Precios".

D. Calendarización anual de los lavados de tanques de sedimentación.

Actualmente se lavan los 4 tanques en una misma semana. Durante el período de invierno (de mayo a octubre) se lavan los tanques cada 2 semanas, y durante el período de verano (noviembre a abril) se lavan los tanques cada 3 semanas. A fin de asegurar un volumen de lodos que pueda ser tratado por el nuevo sistema de tratamiento de lodos, se recomienda la siguiente calendarización:

Clave:

	TANQUE 1
	TANQUE 2
	TANQUE 3
	TANQUE 4

INVIERNO

MAYO						
L	M	M	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

JUNIO

L	M	M	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

JULIO

L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

AGOSTO

L	M	M	J	V	S	D
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

SEPTIEMBRE

L	M	M	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

OCTUBRE

L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

VERANO

NOVIEMBRE						
L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

DICIEMBRE

L	M	M	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
30	31					

ENERO

L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

FEBRERO

L	M	M	J	V	S	D
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28			

MARZO

L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

ABRIL

L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

E. Diagramas de bloques de situación actual de la planta y de situación con sistema propuesto.

Figura No. 51. Diagrama de bloques de situación actual de la planta.

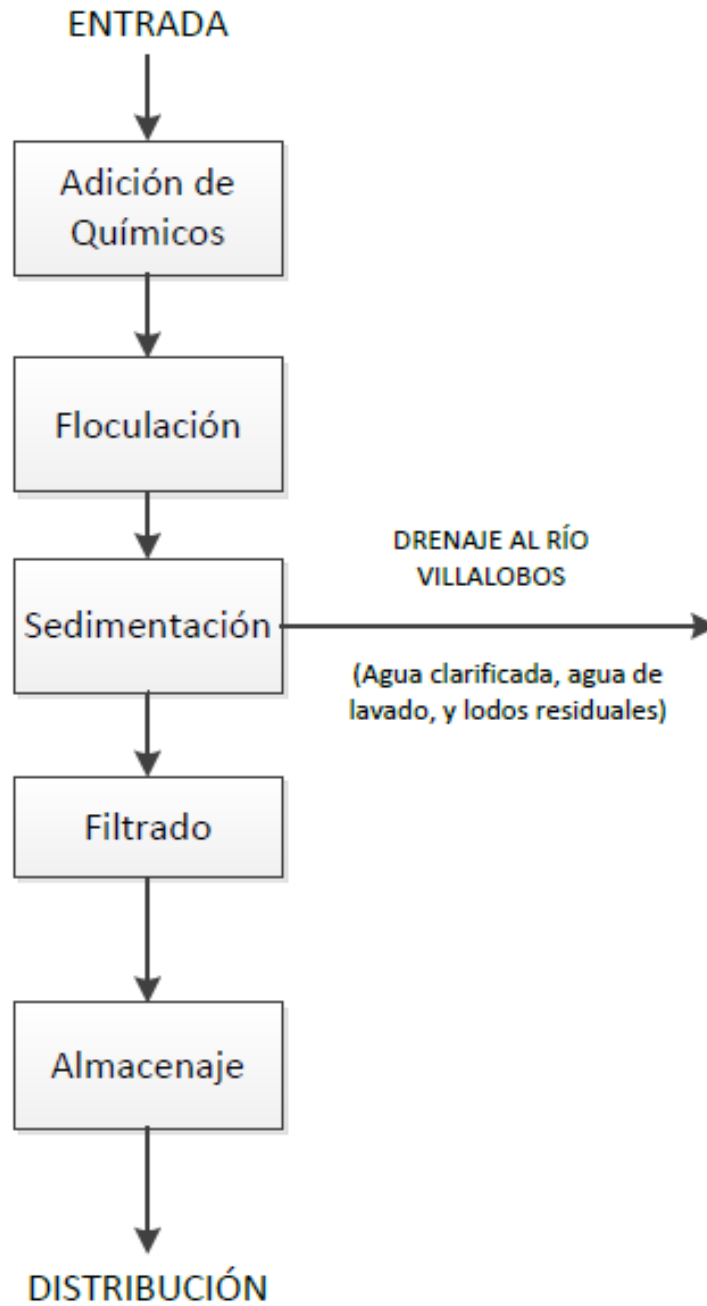
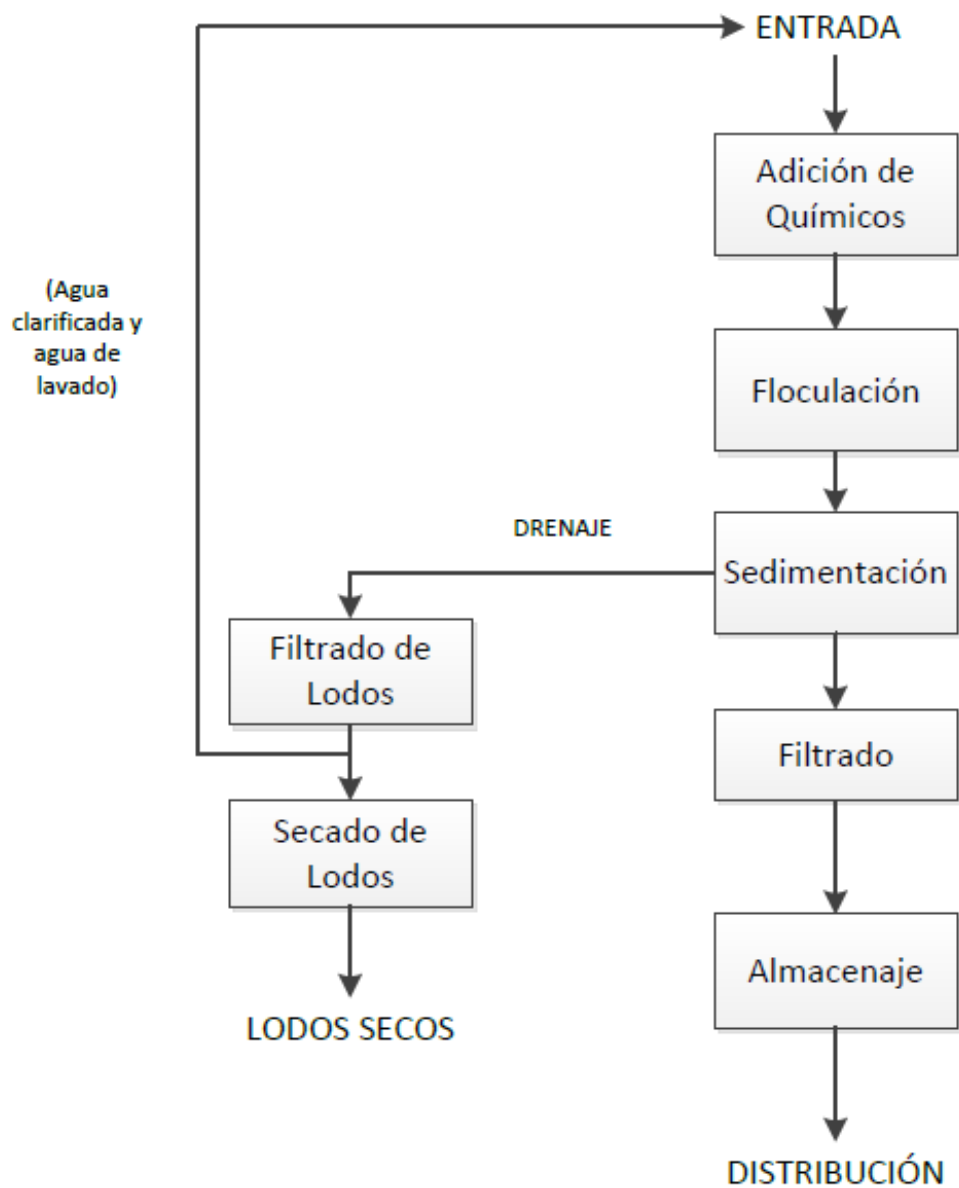


Figura No. 52. Diagrama de bloques de situación actual de la planta.



F. Plan de remoción de sólidos residuales por medio de palas manuales.

Con la finalidad de reducir la cantidad de agua utilizada y el tiempo invertido en el lavado de los tanques, se diseñaron dos palas cuya finalidad era acumular los lodos en los drenajes. Para la fabricación de las palas se utilizó: un basurero plástico, dos rodillos de madera, diez tiras de acero, y dos pedazos de tubo de acero.

Para el cuerpo de cada pala se partió el recipiente plástico a la mitad. Luego se le colocaron tiras de metal en puntos estratégicos a fin de fortalecer la estructura, se agregó una tira metálica en el centro de la estructura para tener un punto estable en donde soldar la tubería que sostendría el rodillo de madera.

Al tener terminadas las palas se hizo una prueba de lavado de tanques utilizándolas. Un integrante del megaproyecto ingresó al tanque durante el período de lavado de tanques. Durante un período de 5 minutos, utilizó la pala en un área de 4 m². Dado que los lodos tienen una altura promedio de 0.5 m, en ese período de prueba se movilizaron 2 m³ de lodos. Con estos datos se determina el flujo volumétrico de los lodos:

$$q = \frac{2 \text{ m}^3}{0.0833 \text{ h}} = 24 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A partir de este dato y el volumen total de lodos en el tanque (420.83 m³), se determina el tiempo total necesario para el lavado de tanque utilizando las palas:

$$\text{tiempo} = 420.83 \text{ m}^3 \cdot \frac{1 \text{ h}}{24 \text{ m}^3} = 17.53 \text{ horas}$$

A continuación se presentan los tiempos que tomaría limpiar el tanque con este método, según el número de operarios que limpien el tanque:

Número de operarios	Tiempo [h]
1	17.53
2	8.77
3	5.84
4	4.38
5	3.51

Se puede observar que se necesitarían 4 operarios limpiando el tanque continuamente para lograr cumplir con las 5 horas de duración que tiene el período de lavado de tanques.

1. Razones por las cuales se rechazó el método manual de lavado de tanques. Existen varias razones por las cuales se descartó el uso de palas manuales para el lavado de los tanques, se presentan a continuación:

- La persona que hizo el experimento del uso de la pala observó que después de utilizar la pala para mover los lodos durante 5 minutos estaba cansado. A partir de esto se concluye que los operarios tendrían que tomar tiempos de descanso frecuentes, aumentando el tiempo total que tardaría la limpieza de los tanques y consecuentemente aumentando el tiempo de operarios que limpian el tanque.
- Actualmente son 4 operarios los que están a cargo de la limpieza del tanque, con el método de palas manuales se necesitarían más operarios lo que aumentaría el costo de limpieza del tanque.
- Durante la prueba se pudo observar que las palas no removían completamente los lodos, por lo que se necesitaría tiempo adicional para limpiar el tanque utilizando otro método de lavado. Este factor contribuye también al aumento de tiempo de lavado, y se cuenta únicamente con 5 horas para efectuar la limpieza del tanque.

Figura No. 53. Pala manual para lavado de tanques.



Figura No. 54 Vista lateral de pala manual para lavado de tanque.



Figura No. 55 Vista superior de palas de lavado manual.



G. Visita a desembocadura de drenajes en río Villalobos.

Se hizo una visita al punto de desembocadura de los drenajes de los tanques de lavado localizado en el río Villalobos. Se pudo observar cualitativamente que el río tenía niveles altos de contaminación; el agua tenía altos niveles de turbidez ya que su color era café, había basura, y un olor desagradable. La consistencia de la arena del río era fangosa. A continuación se presentan imágenes obtenidas durante la visita.

Figura No. 56: Desembocadura de drenajes en el río Villalobos.



Figura No. 57 Río Villalobos en el punto de desembocadura de drenajes.



H. Plan de recubrimiento de tanques de sedimentación con pintura epóxica.

Se necesita conocer el área completa a recubrirse con pintura epóxica, por lo que primero se determina el área de uno de los tanques de sedimentación.

$$A_{\text{tanque de sedimentación}} = [2 \cdot (15.5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m})] + [2 \cdot (54.3 \text{ m} \times 4.5 \text{ m})] + [15.5 \text{ m} \times 54.3 \text{ m}]$$

$$A_{\text{tanque de sedimentación}} = 1,469.85 \text{ m}^2$$

Ahora se determina el área total a recubrir de los cuatro tanques:

$$A_{\text{total}} = (4)(1,469.85 \text{ m}^2)$$

$$A_{\text{total}} = 5,879.40 \text{ m}^2$$

Para hacer el estudio de cantidad de pintura, se utilizó una pintura marca DuPont. La pintura a utilizar sería Epoximastic Altos Sólidos DuPont 25P Línea 525. Se recomienda que el recubrimiento tenga un espesor de 12 mils. Para un recubrimiento de 1 mil, el rendimiento teórico de la pintura es de 27.5 m²/L, por lo tanto los litros necesarios son:

$$\text{Litros de pintura (cobertura de 1 mil)} = (5,879.40 \text{ m}^2) \left(\frac{1 \text{ L}}{27.5 \text{ m}^2} \right)$$

$$\text{Litros de pintura (cobertura de 1 mil)} = 213.80 \text{ L}$$

Para obtener una cobertura con un espesor de 12 mil se necesitarían:

$$\text{Litros de pintura (cobertura de 12 mil)} = (213.80 \text{ L})(12)$$

$$\text{Litros de pintura (cobertura de 12 mil)} = 2,565.56 \text{ L}$$

La pintura tiene un costo de Q781.49 por cada 4 litros de pintura, por lo que el costo total del recubrimiento del tanque sería de:

$$\text{Costo} = \left(\frac{Q781.49}{4 \text{ L}} \right) (2,565.56 \text{ L})$$

$$\text{Costo} = Q501,239.16$$

El proveedor asegura que el recubrimiento de pintura tiene una durabilidad de 4 a 5 años con un buen mantenimiento. Algunas de las consideraciones que se deben tener cuando se haga el recubrimiento:

- El tiempo de curado total de la pintura a 25°C es de 168 horas, por lo que se debe planificar bien a fin que no se vean afectadas de forma negativa las actividades de la planta.

- La superficie en la que se va a aplicar la pintura debe estar lo más limpia posible, se recomienda realizar la limpieza por medio de sanblasteo.

1. Hoja de información técnica de pintura Epoximastic Altos Sólidos marca DuPont (25P Línea 525).



DuPont Recubrimientos

**EPOXIMASTIC ALTOS SOLIDOS
DUPONT 25P LINEA 525**

**INFORMACION TECNICA
DE PRODUCTO**

MI Mantenimiento

Industrial

TIPO

Recubrimiento epoxico de dos componentes curado con poliamida modificado con amina.

DESCRIPCION

Es un producto versatil altos solidos que posee excelentes propiedades, recomendado para ambientes corrosivos severos.

APARIENCIA

Semimate.

COLOR

Ver carta de colores.

PRESENTACION

La base y el catalizador se encuentran disponibles en envases de 4 y 18 litros.

PESO POR PRESENTACION

	Base	Catalizador
En 4 litros	4.89 Kg - 6.85 Kg	5.41 Kg - 5.60 Kg
En 18 litros	22.18 Kg - 24.79 Kg	24.52 Kg - 25.38 Kg

COMPATIBILIDAD

Es compatible con todos los recubrimientos convencionales. Puede aplicarse sobre pintura envejecida en buen estado.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse en áreas secas y ventiladas a temperaturas entre -34°C y 48°C.

EQUIPOS DE APLICACIÓN

Puede ser aplicado con brocha, rodillo, pistola o airless.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

No aplicar si la temperatura del material, el sustrato o ambiente es menor a 7°C o arriba de 43°C. El sustrato debe estar al menos 3°C arriba del punto de rocío y una humedad relativa abajo de 85%.

RESISTENCIA QUIMICA

Acido:	Muy Bueno	Abrasion:	Excelente
Alcali:	Excelente	Solventes:	Excelente
Humedad:	Excelente	Sal:	Excelente
Intemperie: Muy bueno, este productos susceptible al calor debido a la radiación UV.			

TEMPERATURA MAXIMA DE SERVICIO

93°C en servicio continuo, 148°C intermitente.

PREPARACION DE LA SUPERFICIE

La superficie deberá estar libre de polvos y grasas antes de proceder a su preparación. Como primario, se recomienda la preparación de la superficie con chorro abrasivo SSPC-SP 6 (grado metal comercial).

La preparación manual SSPC-SP 2 o mediante herramientas eléctricas SSPC-SP 3 es aceptable en ambientes con restricciones. Para inmersión, se recomienda la limpieza SSPC-SP 5 (preparación con chorro abrasivo grado metal blanco).

PREPARACION DE LA MEZCLA Y VIDA UTIL

Mezclar 1 parte de base con 1 de catalizador. La vida útil a 25°C y 50%HR es de 8 horas. No requiere tiempo de inducción.

USOS SUGERIDOS

- Como recubrimiento único puede aplicarse en espesores de 5 a 12 mils. EPS.
- Como primario en sistemas de 2 ó 3 componentes (3-5 mils EPS), como enlace (4-6 mils EPS).
- Gran durabilidad y adherencia en acero galvanizado, mampostería y concreto.
- Excelente resistencia en estructuras de acero que están sometidas a humedad o inmersión.

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Cumple con las principales especificaciones técnicas que demanda la Industria mexicana.

CADUCIDAD DEL PRODUCTO

Mínimo 12 meses.



Los milagros de la ciencia®

Confianza y Protección.....El Prestigio de Hoy y Siempre

2. Continuación de hoja información técnica de pintura Epoximastic Altos Sólidos marca DuPont (25P Línea 525).



MI Mantenimiento

Industrial

PROPIEDAD	RESULTADOS	METODO	
a) Viscosidad empaque Stomer a 25°C	65 - 100 Ku's.	ASTM D 4212-93	
b) Densidad (Kg/L)	1.27 - 1.41	ASTM D 1475-90	
c) Sólidos en peso (%)	79.55	ASTM D 4209-82 (1991)	
d) Sólidos en volumen (%)	70		
e) Base	525 - XXXXX		
f) Catalizador	VF - 525		
g) Reductor			
Condiciones normales	T - 99172		
Condiciones extremas	T - 99175		
h) Solvente de Limpieza	T - 99175		
i) Relación de mezcla			
Base	50%		
Catalizador	50%		
j) Porcentaje de reducción recomendado:			
Brocha o rodillo	10 - 15%		
Aspersión	hasta 20%		
k) Viscosidad de aplicación copa Zahn No.2	24 - 28 seq.	ASTM D 4212-93	
l) Aplicación por aspersión:			
Presión en la pistola (psi)	40 - 60		
Tiempo de oreo entre manos	6 minutos		
m) Tiempos de secado @ 21°C. 50% H.R.:		ASTM D 1640-95	
Al tacto	2 - 3 horas		
Para recubrir con acabados	4 a 8 horas		
Para repintar	4 horas		
Curado total	7 días		
n) Espesor de película recomendado:			
Húmedo (mils. de pulg.)	4.0 - 28.0		
Seco (mils. de pulg.)	2.0 - 16.0		
ñ) Rendimiento Teórico a 1 mils. de pulg. (m ² /L)	27.5		
o) V.O.C. de la mezcla lb/gal (Kg/L)	2.81 (0.34)	ASTM D 2369-95	
p) Especificación aplicación con pistola			
	Binks	De Vibbs	Graco
Pistola	95	JGA-510 / JGHV-531	800 ó 900
Tobera	66 ó 67	FF, E ó FX	04 ó 086
Boquilla	66PE ó 67PB	705, 704 ó 765	02, 03
q) Especificación aplicación con airless			
Bomba	30:1 Bulldog (Graco)		
Filtro alta presión	Malla 60		
Manquera	3/8" x 45 mts. (150 ft) máxima		
Pistola airless	Graco 207945 ó 208663		
Tips (embocadura)	0.015"-0.027"		
Presión mínima	2,000 psi		

JULIO 2003
 La información y datos aquí proporcionados se obtuvieron a través de pruebas basadas y controladas en nuestro laboratorio de investigación y desarrollo, cualquier diferencia o variación que se presente en campo o en cualquier forma de operación, no podrá ser imputable a DuPont, S.A. de C.V., ya que existen diferentes medios o procesos en los que el usuario puede notar esta diferencia, debido a temperatura, humedad, ambiente o forma de aplicación. DuPont, S.A. de C.V. está en la mejor disposición de dar al cliente toda aquella información, asesoría, y capacitación que pueda ser de beneficio a la compañía o a cualquier personal encargado de su aplicación.

DuPont, S.A. de C.V.

Oficina Homero No. 206, Col. Chapultepec Morales, Tel.: 5722-1000

Planta Barrientos, Tlalpapantla, Edo. de México, Tel.: 5366-4600

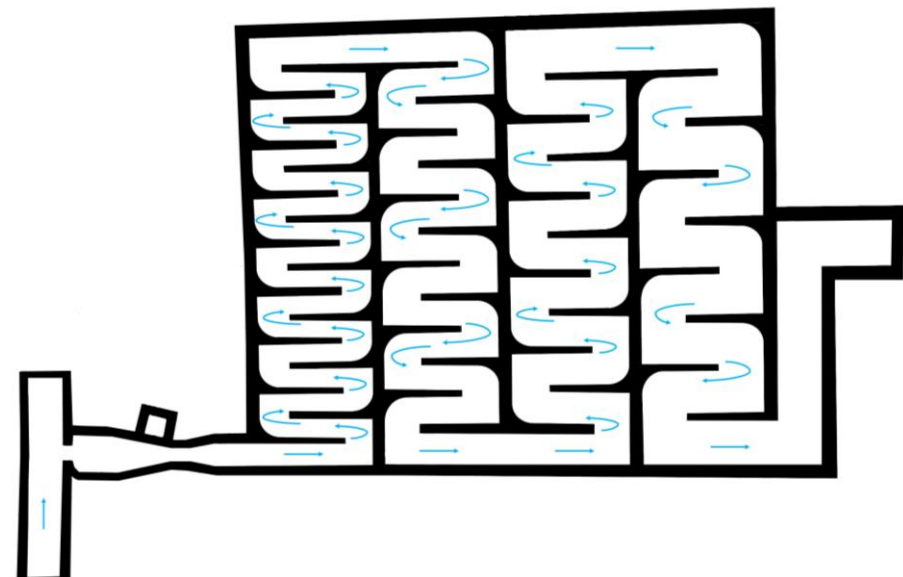
* Marca Registrada por E.I. du Pont de Nemours and Company

Producto Hecho en México

Confianza y Protección.....El Prestigio de Hoy y Siempre

I. Propuesta de reingeniería en sección de floculadores.

Figura No. 58 Propuesta de reingeniería en floculadores.



La propuesta a implementar en la sección de los floculadores es la de realizar un curvado sobre ciertas esquinas de los floculadores. No es necesario curvar todas las esquinas dado que se estaría afectando de gran forma al tiempo de residencia del agua en floculación. Esto es dado a que se ha mostrado un tiempo muerto, donde el agua permanece inmóvil, lo cual genera sedimentación en las esquinas seleccionadas.

Figura No. 59 Radio recomendado para las esquinas

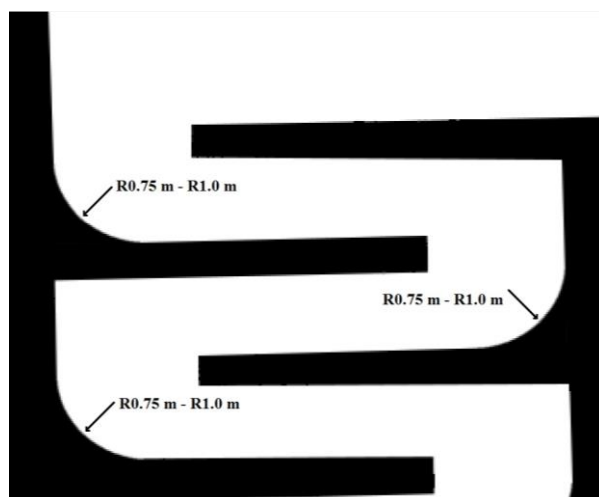


Tabla No. 136. Elementos de la inversión inicial.

	Datos	Localizado	Longitud (m)	Peso (Lb)	Precio/unidad	Precio Total	Flete marítimo o aéreo	Impuesto	Costo aproximado del envío = embarque + flete	Precio Total con envío	Costo de Instalación	Costo Total
INFYMSA - Evaluación e Instalación de Banda Flush Grid Intralox de 8 metros por 2.143 metros con estructura, empujadores y motores listo para funcionar - Por Elmer Balcarcel INFYMSA GUATEMALA.					Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q 250,560.00
Mesh Inoxidable de 48" de ancho	344.27 ft2	USA		283.7955318	Q 9,030.34	Q 9,030.34	Q 8,966.45	Q 2,159.36	Q 11,125.80	Q 20,156.14	Q 4,031.23	Q 24,187.37
Tubería F-949 Durman Guatemala			6		Q 1,258.91	Q 7,352.02	Q -	Q -	Q -	Q 7,352.02	Q 1,470.40	Q 8,822.42
Codos de 45º 12" diámetro - Tubería F-949	2 Unidades				Q 818.24	Q 818.24	Q -	Q -	Q -	Q 818.24	Q 163.65	Q 981.88
Estructura de concreto de 3.1*2.8*8.5 metros	108.98 m2				Q 1,448.55	Q 157,862.98	Q -	Q -	Q -	Q 157,862.98	Q 11,745.00	Q 169,607.98
Estructura de patio de secado 40 x 40 m	1600 m2				Q 1,448.55	Q 2,317,680.00	Q -	Q -	Q -	Q 2,317,680.00	Q 11,745.00	Q 2,329,425.00
Cotización tornillo sin fin, silo y tolvas y láminas					Q 234,900.00	Q 234,900.00	Q -	Q -	Q -	Q 234,900.00	Q 46,980.00	Q 281,880.00
Ensayadora Vertical FFS - Boga técnica (24 Sacos por minuto) Automática	Automática				Q 861,300.00	Q -	Q -	Q -	Q -	Q 861,300.00	Q 172,260.00	Q 1,033,560.00

Tabla No. 137. Resumen de la Inversión Inicial.

	Costo Total
INFYMSA - Evaluación e Instalación de Banda Flush Grid Intralox de 8 metros por 2.143 metros con estructura, empujadores y motores listo para funcionar - Por Elmer Balcarcel INFYMSA GUATEMALA.	Q 250,560.00
Mesh Inoxidable de 48" de ancho	Q 24,187.37
Tubería F-949 Durman Guatemala	Q 8,822.42
Codos de 45º 12" diámetro - Tubería F-949	Q 981.88
Estructura de concreto de 3.1*2.8*8.5 metros	Q 169,607.98
Estructura de patio de secado 40 x 40 m	Q 2,329,425.00
Cotización tornillo sin fin, silo y tolvas y láminas	Q 281,880.00
Ensayadora Vertical FFS - Boga técnica (24 Sacos por minuto) Automática	Q 1,033,560.00

Tabla No. 138. Precios de concreto.

Costo por m ²	Q 1,086.41
Imprevistos (15%)	Q 286.01
Desperdicios (5%)	Q 72.43
Costo total por m²	Q 1,444.85

Tabla No. 139. Precios de fertilizante.

	Peso en libras	Precio
Fertilizante Triple y Urea - Capital	100	Q220.00
Fertilizante - Quetzaltenango	100	Q200.00
Fertilizante Disagro Triple 15	100	Q230.00
Fertilizante Disagro 20 20 0	100	Q225.00
Abono Orgánico Bokashi	100	Q180.00
Quintal de abono 20-20-0	100	Q185.00
Quintal de abono 15-15-15	100	Q190.00
Quintal Nordic de inicio	100	Q160.00
Quintal Nordic de carga	100	Q190.00
Quintal de Urea	100	Q185.00
Lombricompost	100	Q75.00
	Precio Promedio	Q185.45

Tabla No. 140. Precio de Cal.

	Peso en kg	Precio
Cal Hidratada planta morazan el progreso	20.41	Q20.00
	45.36	Q44.44
	Precio por kg	Q0.98

Tabla No. 141. Costo de lodo producido en EMPAGUA por 100 libras.

Volumen m ³	1
Peso (kg)	1,143.75
Costo por m ³	Q2.39
Costo por kg	Q0.0021
Costo por 45.36 kg	Q0.095

Tabla No. 142. Inversión necesaria para una bodega de almacenamiento.

Largo	30
Ancho	25
Alto	10
Capacidad [m3]	7500
Grosor suelo [cm]	15
Area [m2]	750
Volumen de suelo [m3]	112.5
Capacidad del 50%	3750
Volumen de un saco [m3]	0.05265
Total almacenado	71,225.07

		Costo
Metro cúbico de concreto sin acero	Q	1,057.05
Volumen del suelo [m3]		112.5
Costo total	Q	118,918.13
Precio de la lámina		Q250.00
Medidas de 3 x 1 metro		
Techo 30 x 25 [Cantidad de láminas]		250
Parte lateral de la bodega [Cant. Láminas]		167
Parte trasera de la bodega [Cant. Láminas]		100
Cantidad total de lámina		517
Costo total de láminas	Q	129,166.67

Costo de mano de obra	Q	18,000.00
Costo total de la bodega	Q	266,084.79

K. Tabla de amortización.

Tabla No. 143. Tabla de amortización del préstamo.

		Tasa anual 18%			
Préstamo Q3,000,000.00		Tasa efectiva mensual 1.50%		Períodos 60	Amortización Q76,180.28
	Capital		Intereses	Suma	Saldo capital
1	Q 31,180.28	Q	45,000.00	Q 76,180.28	Q 2,968,819.72
2	Q 31,647.99	Q	44,532.30	Q 76,180.28	Q 2,937,171.73
3	Q 32,122.71	Q	44,057.58	Q 76,180.28	Q 2,905,049.02
4	Q 32,604.55	Q	43,575.74	Q 76,180.28	Q 2,872,444.48
5	Q 33,093.62	Q	43,086.67	Q 76,180.28	Q 2,839,350.86
6	Q 33,590.02	Q	42,590.26	Q 76,180.28	Q 2,805,760.84
7	Q 34,093.87	Q	42,086.41	Q 76,180.28	Q 2,771,666.97
8	Q 34,605.28	Q	41,575.00	Q 76,180.28	Q 2,737,061.70
9	Q 35,124.36	Q	41,055.93	Q 76,180.28	Q 2,701,937.34
10	Q 35,651.22	Q	40,529.06	Q 76,180.28	Q 2,666,286.12
11	Q 36,185.99	Q	39,994.29	Q 76,180.28	Q 2,630,100.13
12	Q 36,728.78	Q	39,451.50	Q 76,180.28	Q 2,593,371.35
13	Q 37,279.71	Q	38,900.57	Q 76,180.28	Q 2,556,091.63
14	Q 37,838.91	Q	38,341.37	Q 76,180.28	Q 2,518,252.73
15	Q 38,406.49	Q	37,773.79	Q 76,180.28	Q 2,479,846.24
16	Q 38,982.59	Q	37,197.69	Q 76,180.28	Q 2,440,863.65
17	Q 39,567.33	Q	36,612.95	Q 76,180.28	Q 2,401,296.32
18	Q 40,160.84	Q	36,019.44	Q 76,180.28	Q 2,361,135.48
19	Q 40,763.25	Q	35,417.03	Q 76,180.28	Q 2,320,372.23
20	Q 41,374.70	Q	34,805.58	Q 76,180.28	Q 2,278,997.53
21	Q 41,995.32	Q	34,184.96	Q 76,180.28	Q 2,237,002.21
22	Q 42,625.25	Q	33,555.03	Q 76,180.28	Q 2,194,376.96
23	Q 43,264.63	Q	32,915.65	Q 76,180.28	Q 2,151,112.34
24	Q 43,913.60	Q	32,266.69	Q 76,180.28	Q 2,107,198.74
25	Q 44,572.30	Q	31,607.98	Q 76,180.28	Q 2,062,626.44
26	Q 45,240.89	Q	30,939.40	Q 76,180.28	Q 2,017,385.55
27	Q 45,919.50	Q	30,260.78	Q 76,180.28	Q 1,971,466.05
28	Q 46,608.29	Q	29,571.99	Q 76,180.28	Q 1,924,857.76
29	Q 47,307.42	Q	28,872.87	Q 76,180.28	Q 1,877,550.35
30	Q 48,017.03	Q	28,163.26	Q 76,180.28	Q 1,829,533.32
31	Q 48,737.28	Q	27,443.00	Q 76,180.28	Q 1,780,796.04
32	Q 49,468.34	Q	26,711.94	Q 76,180.28	Q 1,731,327.69
33	Q 50,210.37	Q	25,969.92	Q 76,180.28	Q 1,681,117.33
34	Q 50,963.52	Q	25,216.76	Q 76,180.28	Q 1,630,153.81
35	Q 51,727.98	Q	24,452.31	Q 76,180.28	Q 1,578,425.83
36	Q 52,503.89	Q	23,676.39	Q 76,180.28	Q 1,525,921.94
37	Q 53,291.45	Q	22,888.83	Q 76,180.28	Q 1,472,630.48
38	Q 54,090.83	Q	22,089.46	Q 76,180.28	Q 1,418,539.66
39	Q 54,902.19	Q	21,278.09	Q 76,180.28	Q 1,363,637.47
40	Q 55,725.72	Q	20,454.56	Q 76,180.28	Q 1,307,911.75
41	Q 56,561.61	Q	19,618.68	Q 76,180.28	Q 1,251,350.14
42	Q 57,410.03	Q	18,770.25	Q 76,180.28	Q 1,193,940.11
43	Q 58,271.18	Q	17,909.10	Q 76,180.28	Q 1,135,668.93
44	Q 59,145.25	Q	17,035.03	Q 76,180.28	Q 1,076,523.68
45	Q 60,032.43	Q	16,147.86	Q 76,180.28	Q 1,016,491.26
46	Q 60,932.91	Q	15,247.37	Q 76,180.28	Q 955,558.34
47	Q 61,846.91	Q	14,333.38	Q 76,180.28	Q 893,711.44
48	Q 62,774.61	Q	13,405.67	Q 76,180.28	Q 830,936.83
49	Q 63,716.23	Q	12,464.05	Q 76,180.28	Q 767,220.60
50	Q 64,671.97	Q	11,508.31	Q 76,180.28	Q 702,548.62
51	Q 65,642.05	Q	10,538.23	Q 76,180.28	Q 636,906.57
52	Q 66,626.68	Q	9,553.60	Q 76,180.28	Q 570,279.89
53	Q 67,626.08	Q	8,554.20	Q 76,180.28	Q 502,653.80
54	Q 68,640.48	Q	7,539.81	Q 76,180.28	Q 434,013.33
55	Q 69,670.08	Q	6,510.20	Q 76,180.28	Q 364,343.24
56	Q 70,715.13	Q	5,465.15	Q 76,180.28	Q 293,628.11
57	Q 71,775.86	Q	4,404.42	Q 76,180.28	Q 221,852.25
58	Q 72,852.50	Q	3,327.78	Q 76,180.28	Q 148,999.75
59	Q 73,945.29	Q	2,235.00	Q 76,180.28	Q 75,054.47
60	Q 75,054.47	Q	1,125.82	Q 76,180.28	Q 0.00

L. Estudio de tiempos.

1. Descripción. En el caso del estudio de tiempos, prácticamente se trata de una técnica que es muy utilizada hoy en día para lograr determinar con una muy buena aproximación, el tiempo que se lleva a cabo una tarea específica como lo es la sección de los floculadores desde su punto inicial a su punto final, todo esto haciendo uso de cierto número de observaciones y con la ayuda de instrumentos de medición adecuados para lograr realizar un buen estudio y establecer un estándar de tiempo para lo evaluado.

2. Delimitación de la sección a evaluar. El estudio de tiempos se centra en una sección del proceso, en este caso se trata de la sección de floculación. Esto es dado a que se desea conocer el tiempo de residencia del agua durante la floculación, verificar los datos de caudales con los teóricos de la planta de tratamiento y por medio de la observación analizar si puede haber mejoras. Todo esto para ver la posibilidad de lograr reducir la cantidad de lodos sedimentados en los floculadores y así prolongar los tiempos de limpieza de esta sección y por ende una reducción en los costos de limpieza de ellos.

Estas secciones deben ser evaluadas en los dos períodos de estaciones marcados, es decir, en verano e invierno. Esto es dado a que se presentan caudales diferentes y por ende los resultados son distintos. Cabe mencionar que la velocidad de flujo puede variar en la temporada.

El diseño del instrumento junto con la utilización de herramientas para el estudio y estudio previo puede ser encontrado en el anexo de “Estudio de Tiempos en Floculación”. El estudio de tiempos completo puede ser encontrado en el anexo de “Estudio de Tiempos en Floculación”, en el cual se puede apreciar los tiempos promedio de residencia del agua en la sección de floculación para las épocas de invierno y de verano.

M. Seguridad industrial.

1. Análisis de riesgos y peligros. Éste se muestra con el inventario de peligros, dado que se cuenta con el peligro, su respectiva descripción, el tipo de consecuencia y su respectiva descripción, el personal expuesto ante el peligro, su posibilidad de ocurrencia y el riesgo. El análisis puede ser visto en la parte de resultados.

2. HEMP de la planta de tratamiento de agua. Con respecto al análisis HEMP de la planta de tratamiento de agua, es necesario de involucrar una matriz, en la cual se puede apreciar las barreras y controles que se pueden implementar en la planta de tratamiento de aguas. Es necesario de la identificación de la amenaza, seguido por el riesgo, luego las medidas de control que pueden ayudar a contener la amenaza. Se debe mencionar el evento no deseado, el cual es la liberación del peligro, las medidas de recuperación que se deben tener al momento de haber liberado el peligro y por último las consecuencias que puede ocurrir. El análisis HEMP, puede ser visto en la parte de resultados.

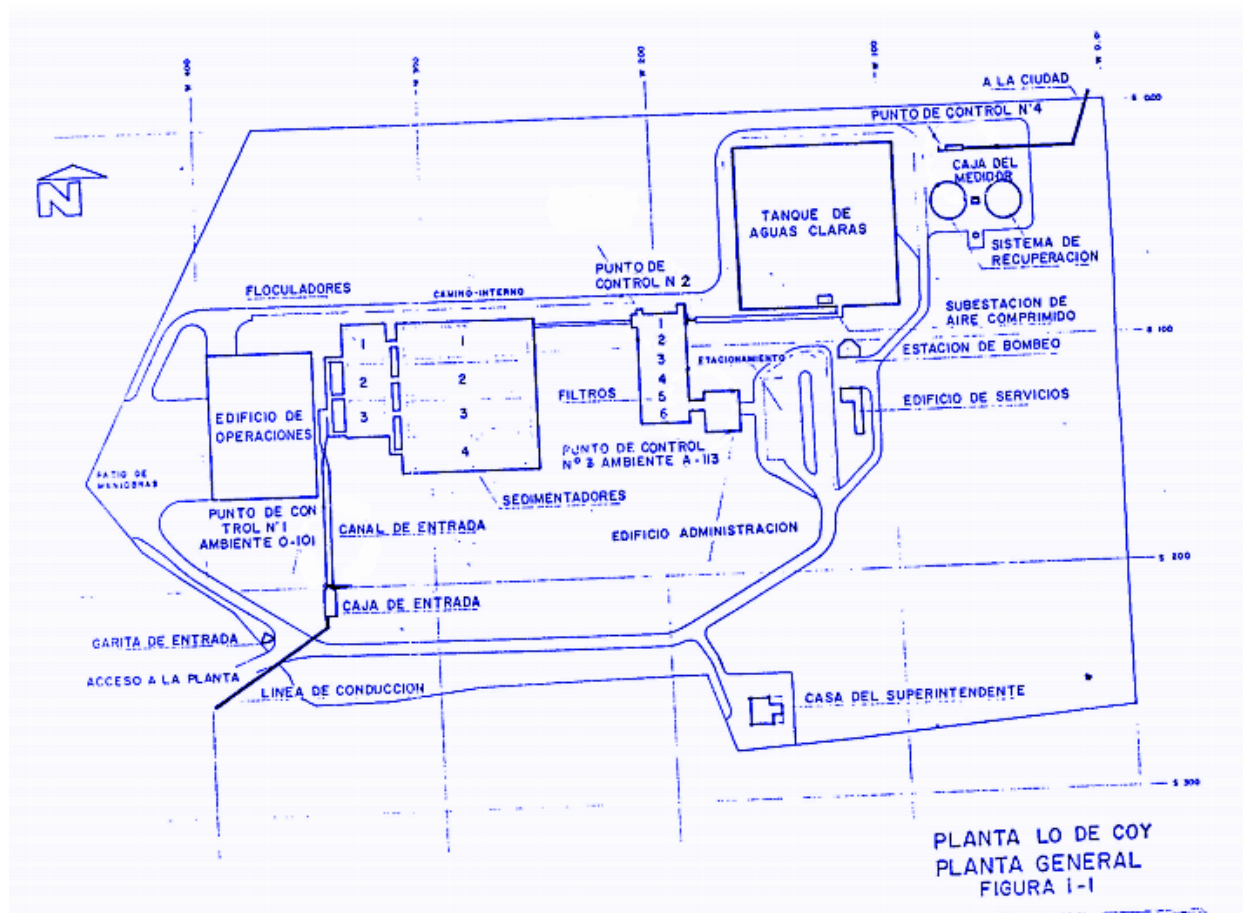
3. Matriz de riesgos. La matriz de riesgos debe llevar la clasificación de los riesgos encontrados, una breve descripción del riesgo, la probabilidad de ocurrencia, la consecuencia y por último su clasificación. La matriz puede ser vista en la parte de los resultados.

4. Análisis de las 4 T. En el caso del análisis de las 4 T, se incluye una matriz donde se detalla el peligro, el riesgo que se puede generar y el análisis de cada una de las T: Tomar el riesgo, Tratar el riesgo, Transferir el riesgo, Terminar el riesgo y finalmente su clasificación. Éste puede ser visto en la parte de los resultados obtenidos.

N. Mejora continua.

1. Sección a evaluar. En este caso el edificio de operaciones, la sección de floculación, sedimentación, filtros y cloración son los evaluados para la propuesta.

Figura No. 60. Plano de la planta "Lo de Coy".



Dentro de las secciones mencionadas en el área de sedimentación se encontraron muy pocos objetos que obstruyen el paso de las personas que lleguen a transitar por el proceso. En este caso se trataban de palos de madera y mangueras, las cuales son usadas para la limpieza de los sedimentadores. Por otro lado en el edificio de operaciones fue donde se encontró la mayoría de material a clasificar.

2. El método de las 5s - "Propuesta"

Clasificación y descarte:

En este caso se trata de mantener lo esencial en la planta para reducir lo innecesario acumulado. Se realizó una tabla con todos los objetos encontrados que pueden servir para la evaluación:

Tabla No. 144. Clasificación y descarte.

Clasificación	1	2	3	4	5	Descarte	Conservado
Troncos de madera	X	X	X			X	
Mangueras de agua		X	X		X		X
Palas		X					X
Pallets viejos o dañados			X		X	X	
Sacos de arena volcánica			X			X	
Tubos PVC			X			X	
Chatarra (Metal)			X		X	X	
Restos de lámparas			X			X	
Sacos de Sulfato de Aluminio				X	X		X
Tanques de Gas Cloro Grandes					X		X
Tanques de Gas Cloro Pequeños					X		X
Mangueras para gas cloro					X		X
Toneles					X	X	
Carretías					X		X
Recipiente de Galón					X	X	
Máquina lustradora de suelo					X	X	
Toneles de metal					X	X	
Varillas de metal					X	X	
Escaleras de metal					X		X
Tablas de madera					X	X	
Escritorios de metal					X	X	
Tableros de dibujo					X	X	
Catres de metal					X	X	
Montacargas manuales					X		X
Alambre espigado					X		X
Armario de metal					X	X	
Focos de alumbrado público					X	X	
Sillas					X	X	
Bancos					X	X	
Aros de carro					X	X	
Bicicleta					X	X	

Tabla No. 145. Secciones.

Sección	Número
Floculación	1
Sedimentación	2
Filtros	3
Cloración	4
Edificio de operaciones	5

Con lo cual se ha logrado descartar 21 artículos innecesarios y conservar 10 artículos, estos deben ser posicionados en alguna parte de la planta.

Organización:

En este caso para la organización de los artículos u objetos se realizó una ubicación estratégica de cada uno, para una mejor organización.

Tabla No. 146. Organización propuesta 5S.

Conservado	Ubicación	
Mangueras de agua	AZUL	
Palas	MORADO	
Sacos de Sulfato de Aluminio	CELESTE	
Tanques de Gas Cloro Grandes	AMARILLO (VACIO)	ROJO (LLENO)
Tanques de Gas Cloro Pequeños	AMARILLO (VACIO)	ROJO (LLENO)
Mangueras para gas cloro	AZUL	
Carretías	VERDE	
Escaleras de metal	GRIS	
Montacargas manuales	VERDE	
Alambre espicado	Debe colocarse en los bordes de la planta	

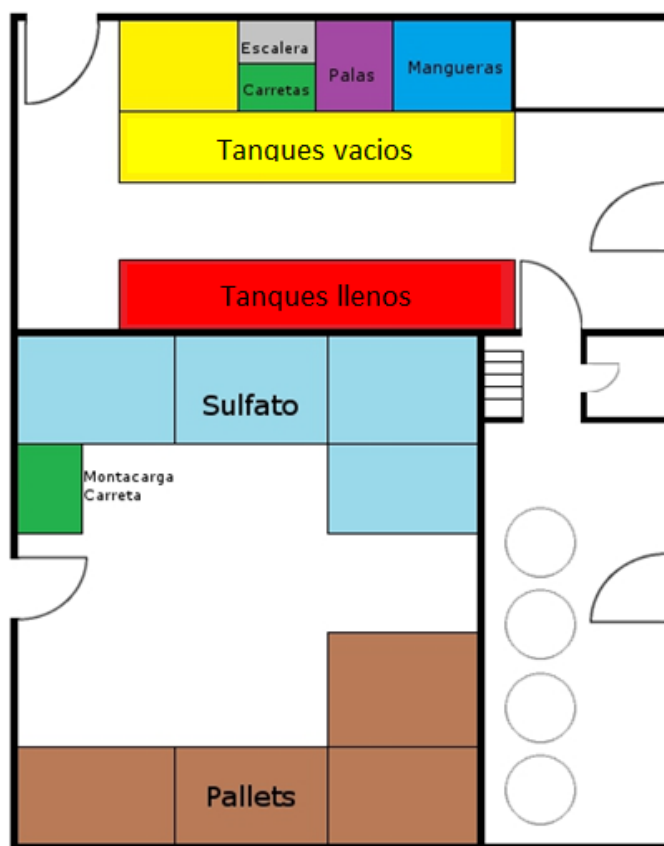
Tabla No. 147. Artículos descartados.

Objetos descartados		
Troncos de madera	Varillas de metal	Escritorios de metal
Pallets viejos o dañados	Tablas de madera	Armario de metal
Sacos de arena volcánica	Tableros de dibujo	Sillas
Chatarra (Metal)	Catres de metal	
Restos de lámparas	Focos de alumbrado público	
Toneles	Bancos	
Recipiente de Galón	Aros de carro	
Máquina lustradora de suelo	Bicicleta	
Toneles de metal	Tubos PVC	

La ubicación de los artículos u objetos se ha realizado en el edificio de operaciones, esto es debido a que sus condiciones son apropiadas para la conservación de los mismos. Es el caso de las mangueras, las cuales actualmente reposan en el camino de los sedimentadores y el efecto de la luz solar hace que el material con que están fabricadas pierda sus propiedades. Las palas se conservan mejor en un ambiente que no permita oxidarlas al igual que las

carretías y el montacarga manual. En el caso del alambre espigado se conserva con el fin de aumentar la seguridad en la cerca de la planta de tratamiento, para evitar la intrusión de personas ajenas a la empresa. La distribución de los artículos se muestra en la imagen realizada para el edificio de operaciones:

Figura No. 61. Ubicación de artículos y objetos.



Esta distribución de artículos u objetos es pensada con el fin de no afectar el tránsito de las personas en la planta y la posibilidad de movilización de los artículos.

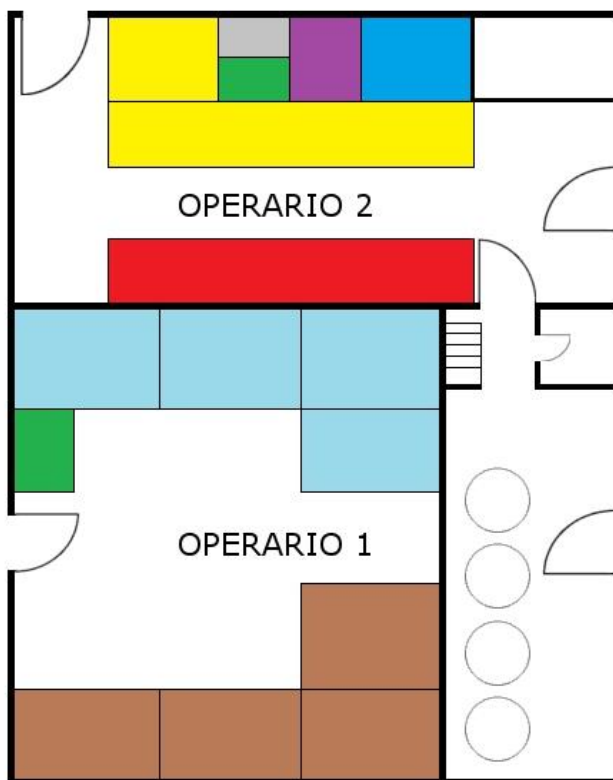
Limpieza:

En el caso de la limpieza es necesario siempre estar al tanto de ella. Esto es dado que si no se tiene a cargo la limpieza de la planta todo el trabajo realizado anteriormente con la clasificación, descarte y orden no tiene sentido porque se estaría acumulando artículos u objetos nuevamente.

Por ello es muy importante que los tres operarios de la planta se enfoquen cada uno en una sección de la planta a mantener limpia. Todos tienen que colaborar, dado que si no se colabora al respecto de esto el método empieza a perder fuerza y enfoque.

A continuación se muestra la asignación de lugar de cada operario a mantener limpio:

Figura No. 62. Asignación de limpieza.



El operario 1 deberá ser el encargado de la sección del área de tolvas y almacenaje de químicos y pallets. El operario 2 deberá ser responsable de la organización de los cilindros de gas cloro vacíos y llenos, al igual que la organización de las mangueras, palas, carretas, y escaleras. El operario 3 deberá ser el encargado de ver que el proceso de floculación, sedimentación y cloración estén bien limpios y ordenados sin artículos fuera de su lugar.

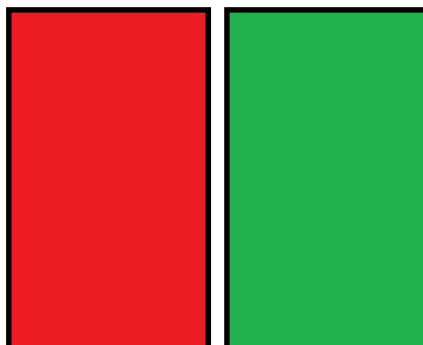
Higiene y visualización:

En este caso se debe manejar un tratamiento visual, en el cual el Ingeniero encargado de la planta debe hacer un recorrido para verificar visualmente los puntos erróneos y los correctos en la limpieza realizada de la planta. Es por ello que se deberá manejar con una gestión de colores, utilizando los colores verde y rojo.

El verde será utilizado para verificar que la zona está en buenas condiciones. En el caso del rojo será utilizado para identificar una zona mal cuidada y que necesita mejorar. Esto se deberá

hacer por medio de tarjetas de 10 x 15 cm en las áreas evaluadas, con el fin de que los operarios al ver su tarjeta tomen las acciones necesarias.

Figura No. 63. Ejemplo de las tarjetas a utilizar.



Disciplina y compromiso:

La disciplina y compromiso debe ser por parte de los trabajadores de la planta, en este caso de los operarios e ingenieros involucrados para hacer los 4 puntos anteriores satisfactorios y llevar a la planta de tratamiento a una mejora continua. Con esta propuesta se estarían mejorando varios aspectos dentro de la planta con el fin de ir trabajando en una forma adecuada paralela a la producción de agua y lodos en la planta de tratamiento.

O. Grupo de enfoque y demanda.

1. Grupo de enfoque. El producto que la planta de secados de lodos estará brindando es ideal para enfocarse en la agricultura. En este caso se enfocó el análisis en productos de tallo largo, como lo es la milpa.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el 52% de la producción nacional le corresponde al maíz blanco y otro porcentaje al maíz amarillo. Lo cual ayuda a enfocarse en este sector, dado que la capacidad de producción de la planta puede proveer de un producto de utilidad al mismo. (INE, Número de Fincas Censales, Superficie Cultivada y Producción Obtenida de Cultivos Permanentes y Semipermanentes, 2004)

Tabla No. 148. Producción anual de Guatemala.

PRODUCCIÓN OBTENIDA DE CULTIVOS ANUALES (AÑO AGRÍCOLA 2002/2003)					
Cultivo	Producción Obtenida	Porcentaje	Cultivo	Producción Obtenida	Porcentaje
Acelga	22,063	0.06%	kenaf	635	0.00%
ajo	25,009	0.06%	lechuga	216,258	0.55%
ajonjolí	272,738	0.70%	lenteja	268	0.00%
apio	66,501	0.17%	linaza	216	0.00%
arroz	258,393	0.66%	maicillo	818,026	2.09%
arveja	73,288	0.19%	maicillo para ensilaje	375,988	0.96%
arveja china	127,447	0.33%	maíz amarillo	2,785,068	7.12%
avena	47,468	0.12%	maíz blanco	20,337,694	52.02%
ayote	131,723	0.34%	maíz de otros colores	153,455	0.39%
berenjena	12,879	0.03%	maíz dulce	8,292	0.02%
berro	6,728	0.02%	maíz para ensilaje	10,425	0.03%
bledo	2,835	0.01%	mani	54,768	0.14%
brócoli	414,192	1.06%	manzanilla	601	0.00%
camote	17,013	0.04%	melón	2,906,599	7.44%
cebada	485	0.00%	miltomate	11,505	0.03%
cebolla	526,677	1.35%	mostaza	144	0.00%
centeno	201	0.00%	nabo	1,017	0.00%
chilacayote	32,663	0.08%	okra	96,550	0.25%
chile picante	119,134	0.30%	papa	2,254,604	5.77%
chile pimienta	146,519	0.37%	pepino	170,465	0.44%
col de cruzetas	11,580	0.03%	pepitoria	53,187	0.14%
coliflor	126,359	0.32%	perejil	4,619	0.01%
colinabo	149	0.00%	pericon	153	0.00%
culandrotro	20,402	0.05%	puerro	4,362	0.01%
ejote	81,789	0.21%	rabano	41,042	0.10%
ejote frances	20,486	0.05%	radicchio	3,230	0.01%
elote	43,597	0.11%	remolacha	90,484	0.23%
espinaca	6,001	0.02%	repollo	501,530	1.28%
flores y plantas Ornamentales	12,656	0.03%	rosa de jamaica	3,651	0.01%
frijol de otros colores	34,813	0.09%	sandía	664,722	1.70%
frijol negro	2,259,447	5.78%	soya	5,562	0.01%
gandul	101	0.00%	suchini	8,430	0.02%
garbanzo	2,225	0.01%	tabaco en rama	119,418	0.31%
girasol	1,048	0.00%	tomate	1,858,121	4.75%
gúicoy	42,738	0.11%	tomillo	198	0.00%
haba	49,855	0.13%	trigo	54,624	0.14%
hierba mora	21,261	0.05%	yuca	70,863	0.18%
hongos comestibles	669	0.00%	zanahoria	366,694	0.94%
PRODUCCIÓN TOTAL EN QUINTALES			39,092,600		

2. Demanda. Para poder establecer la demanda de la planta, es necesario establecer el grupo de enfoque. Por lo que según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) la mayor producción de Milpa puede ser localizada en los siguientes departamentos:

Tabla No. 149. Grupo de enfoque de maíz amarillo.

Superficie de cultivo de maíz amarillo por departamento en hectáreas				
	República	135,334	Porcentaje	Número de Productores
	Guatemala	448	0.33%	27,699
	El Progreso	309	0.23%	8,824
	Sacatepéquez	392	0.29%	1,313
	Chimaltenango	1,107	0.82%	53,477
	Escuintla	62	0.05%	12,539
	Santa Rosa	864	0.64%	12,999
Occidente	Sololá	5,105	3.77%	23,547
Occidente	Totonicapán	11,098	8.20%	61,110
Occidente	Quetzaltenango	14,124	10.44%	57,342
	Suchitepéquez	-		6,849
	Retalhuleu	16	0.01%	18,210
Occidente	San Marcos	9,613	7.10%	126,485
Occidente	Huehuetenango	26,803	19.81%	72,161
Occidente	Quiché	31,331	23.15%	47,463
Norte	Baja Verapaz	7,606	5.62%	20,985
Norte	Alta Verapaz	19,973	14.76%	113,819
Norte	Petén	1,180	0.87%	11,146
	Izabal	1,243	0.92%	4,269
	Zacapa	335	0.25%	3,948
	Chiquimula	566	0.42%	25,013
	Jalapa	2,782	2.06%	14,493
	Jutiapa	377	0.28%	35,348
	Total región del Norte y Occidente			534,058
	Norte y Occidente			94%
				<i>De la producción total de maíz amarillo</i>
	Cantidad de quintales producidos			2,610,131

Para el cultivo de maíz amarillo se estará enfocando la demanda en el Occidente y Norte del país. Lo cual representa un 94% de la producción total de maíz amarillo con los departamentos seleccionados. Ver cuadro 10 – Grupo de enfoque de maíz amarillo.

En los estudios realizados del lodo tratado, se determinó que con un 5% de lodos las plantas crecen a un buen ritmo, y éste le brinda lo necesario para el crecimiento. Bajo este criterio se calcula sobre el 94% un 5% para determinar la cantidad de quintales necesarios de demanda de lodos. Con la cantidad de quintales producidos se podrá calcular una demanda meta para la producción de lodos tratados por EMPAGUA.

Tabla No. 150. Grupo de enfoque de maíz blanco.

Superficie de cultivo de maíz blanco por departamento en hectáreas				
	República	720,543	Porcentaje	Número de Productores
	Guatemala	22,862	3.17%	27,699
	El Progreso	11,959	1.66%	8,824
	Sacatepéquez	5,584	0.77%	1,313
	Chimaltenango	22,371	3.10%	53,477
	Escuintla	29,061	4.03%	12,539
	Santa Rosa	21,562	2.99%	12,999
Occidente	Sololá	12,110	1.68%	23,547
Occidente	Totonicapán	3,177	0.44%	61,110
Occidente	Quetzaltenango	19,766	2.74%	57,342
	Suchitepéquez	28,830	4.00%	6,849
	Retalhuleu	30,294	4.20%	18,210
Occidente	San Marcos	38,453	5.34%	126,485
Occidente	Huehuetenango	35,031	4.86%	72,161
Occidente	Quiché	33,808	4.69%	47,463
Norte	Baja Verapaz	10,430	1.45%	20,985
Norte	Alta Verapaz	133,552	18.53%	113,819
Norte	Petén	90,925	12.62%	11,146
	Izabal	19,994	2.77%	4,269
	Zacapa	20,780	2.88%	3,948
	Chiquimula	26,764	3.71%	25,013
	Jalapa	37,025	5.14%	14,493
	Jutiapa	66,204	9.19%	35,348
			Total región del Norte	145,950
		Norte	33%	De la producción total de maíz blanco
	Cantidad de quintales producidos		6,630,380	

Para el cultivo de maíz blanco se centró el estudio en el occidente y norte del país. En este caso solamente se estará centrando en un 33% de la producción total de maíz blanco, esto es debido a la capacidad de producción que puede brindar la planta. Por lo que la cantidad de quintales

Por lo tanto un 5% sobre los quintales producidos en el norte y occidente se tienen 130,507 para cultivo de maíz amarillo, más 331,519 para el maíz blanco, lo cual nos brinda un total de 462,026 quintales de lodo a tratar, lo que representa un total de 101,645,625 libras ó 46,105,679.8 Kg de lodo tratado.

Sobre esta cantidad de libras objetivo se establecieron metas para cada año. El estudio se evaluó para diez años, con diferentes metas sobre la cantidad de libras objetivo.

Las metas pueden ser vistas en la siguiente tabla:

Tabla No. 151. Metas propuestas por año para la demanda.

Año	Meta
1	20.00%
2	35.00%
3	45.00%
4	50.00%
5	51.00%
6	51.50%
7	51.75%
8	52.00%
9	52.00%
10	52.00%

3. Demanda proyectada con efecto de crecimiento de las metas. Las metas de venta del producto producido se han puesto dado al tema del mercadeo y comercialización. Esto es dado a que los primeros años son los más fuertes de mercadear y vender un producto. Por lo que se han establecido las metas para evitar la sobreproducción e introducción del producto al mercado.

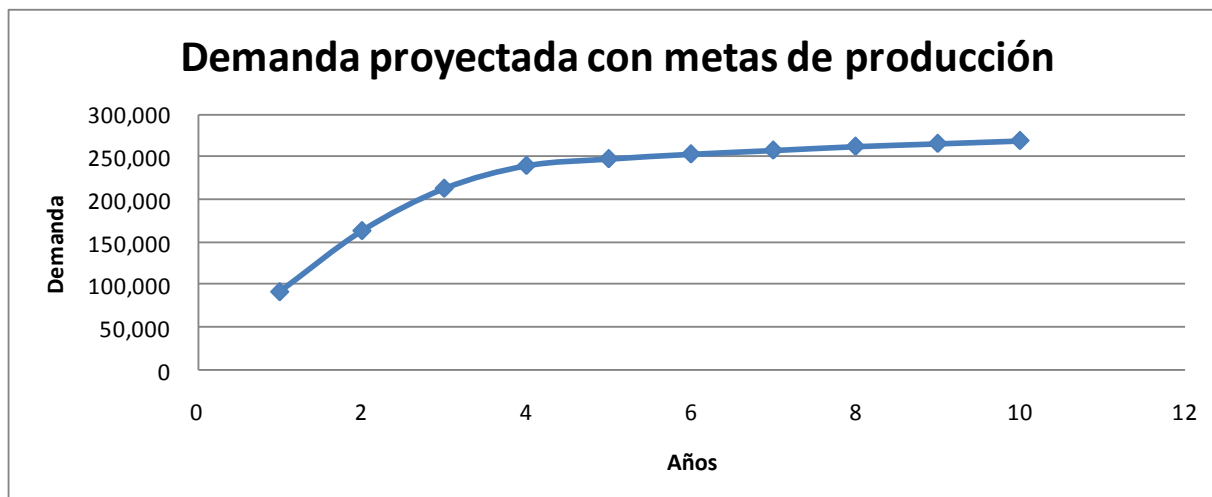
Al momento de no establecer las metas y elevar la producción de la planta al máximo de su eficiencia, si no se tienen clientes o una demanda interesada en el producto, se incurrirá en costos de almacenamiento elevados. Por ello se ha propuesto producir un 5% más sobre la meta impuesta, como un inventario adicional para el siguiente año de producción.

Por lo tanto se obtuvo lo siguiente:

Tabla No. 152. Demanda proyectada con metas e inventario.

DEMANDA PROYECTADA CON EFECTO DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN	AÑO	DEMANDA OBJETIVO	META	DEMANDA DE SACOS	PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN + INVENTARIO	PORCENTAJE	INVENTARIO
EVALUACIÓN A 10 AÑOS	1	1,016,456	20.00%	203,291	203,291	213,456	5%	10,165
	2	1,029,300	35.00%	360,255	350,091	368,103		18,013
	3	1,042,306	45.00%	469,038	451,025	474,477		23,452
	4	1,055,477	50.00%	527,739	504,287	530,674		26,387
	5	1,068,814	51.00%	545,095	518,708	545,963		27,255
	6	1,082,320	51.50%	557,395	530,140	558,010		27,870
	7	1,095,996	51.75%	567,178	539,308	567,667		28,359
	8	1,109,845	52.00%	577,119	548,760	577,616		28,856
	9	1,123,869	52.00%	584,412	555,556	584,776		29,221
	10	1,138,070	52.00%	591,796	562,576	592,166		29,590

Gráfica No. 10. Comportamiento de la demanda proyectada con metas.



Se puede apreciar en el Gráfico No. 10, que al establecer las metas de producción sobre el grupo focal objetivo y el pasar de los años se tiene un incremento de la demanda, para llegar a una demanda más estable al final.

Esto se hace dado que los primeros tres años son los de introducción del producto, lo cual se establecen metas de producción bajas para evitar los altos costos de almacenamiento. También es el período de introducción del producto por lo que se debe de realizar un buen enfoque en el mercadeo los primeros años, es decir, se debe realizar una buena inversión en el tema de mercadeo del producto.

P. Estudio y evaluación financiera

1. Evaluación de costos de limpieza en sedimentadores. El cálculo de los costos de limpieza en la sección de los sedimentadores, se hizo a través de la recolección de datos de lo cual se obtuvo lo siguiente para la evaluación:

Sueldo de los empleados = Q3,200 (Q2950 + Q250 bonificación decreto)

Número de empleados en la planta = 5

Días de trabajo = 22 días

Horas de trabajo diario = 8 horas

Bono = Bonificación (Q200) + Transporte (Q100) = Q300

Costo de producir 1 metro cúbico de agua = Q3.34 (Con fuente de la página oficial de EMPAGUA)

Tabla No. 153. Monto del sueldo por empleado.

Base	Q 3,200.00
Bonificación Decreto	Q (250.00)
Total	Q 2,950.00
Cuotas patronales 42.3275%	Q 1,248.66
Total con coutas patronales	Q 4,198.66
Bonificación	Q 200.00
Transporte	Q 100.00
Bonificación Decreto	Q 250.00
Total por empleado	Q 4,748.66

Costo promedio anual de sueldos en limpieza de tanques:

Se puede realizar un cálculo rápido del sueldo mensual de los empleados, para este caso se utiliza la tabla de total de cuotas patronales:

Tabla No. 154. Porcentaje de cuotas patronales.

Aginaldo	8.33%
Indemización	8.33%
Bono14	8.33%
IGGS	10.67%
IRTRA	1%
INTECAP	1%
VACACIONES	4.65753%
TOTAL CUOTAS PATRONALES	42.3275%

Con la cual se realizó el cálculo de los sueldos mensuales con el fin de determinar los sueldos diarios y el sueldo por hora de cada trabajador. Se obtiene un sueldo de empleado mensual de Q 4,748.66 con el bono incluido extra de EMPAGUA, el cual es Q100 de transporte y Q200 extras de bono.

Con los Q 4,748.66 se puede realizar un cálculo de sueldo diario y de sueldo por hora. Al dividir los Q 4,748.66 por los 22 días de trabajo se obtiene un sueldo diario de Q 215.85 para luego ser dividido por las 8 horas de trabajo diario y obtener un sueldo por hora de Q 26.98 Para el cálculo del costo promedio anual de sueldos en limpieza es necesario lo siguiente:

Cantidad de empleados limpiando el tanque en la planta = 3 empleados

Tiempo de limpiado en horas = 5 horas

Veces de limpiado en invierno = 13 veces por tanque

Veces de limpiado en verano = 9 veces por tanque

Cantidad de tanques a ser limpiados = 4

Para lo cual se logró realizar la siguiente tabla para ver el tiempo de limpiado en horas al mes:

Tabla No. 155. Tiempo de limpiado en horas al mes.

	Lavados	Tanques	Lavados anuales	Lavado mensual	Horas mensuales total
Invierno	13	4	52	8.67	43.33
Verano	9	4	36	6	30

Con la tabla anterior se puede ver claramente que en invierno se tiene un total de 43.33 horas y verano 30 horas, para poder realizar los cálculos del sueldo en horas de limpieza para el mes de invierno y para el mes de verano y obtener un costo promedio anual de sueldos de limpieza de Q 35,614.96

Tabla No. 156. Costo promedio anual de sueldos de limpieza de tanques.

	Mensual	3 Empleados	Anual
Sueldo en horas de limpieza al mes (Invierno)	Q1,169.18	Q3,507.53	Q21,045.21
Sueldo en horas de limpieza al mes (Verano)	Q809.43	Q2,428.29	Q14,569.76
	Costo anual		Q35,614.96

Para obtener el costo anual en invierno se multiplicó por seis meses al igual que en verano. Esto es dado a que son las estaciones marcadas en Guatemala y las evaluadas para este caso.

Costo de agua utilizada:

En este caso es necesario de la toma de datos del tiempo de apertura en horas de las mangueras para poder realizar el costo respectivo de los gastos de agua.

Tabla No. 157. Tiempo de apertura.

Fecha	No. de Tanque	Tiempo de apertura [horas]				
		Manguera con motor	Manguera del chorro	Mangueras pequeñas	Valvula de abajo	Canaletas
19-Junio-2012	2	4.33	0	0	0	0.27497
21-Junio-2012	4	3.25	2.25	1.69	0.22	0
19-Julio-2012	3	3.28	1.45	1.81	0	0.2188
20-Julio-2012	4	3.72	2.28	1.48	0	0.101647
	Promedio	3.65	1.99	1.66	0.22	0.20

Tabla No. 158. Gasto de agua.

	Gasto de agua total [m ³]					TOTAL [m ³]
	Manguera con motor	Manguera del chorro	Mangueras pequeñas	Valvula de abajo	Canaletas	
	260.00	0.00	0.00	0.00	274.20	534.20
	195.00	202.95	4.19	21.67	0.00	423.81
	196.80	130.79	4.49		218.19	550.27
	223.20	205.65	3.67		101.36	533.88
Promedio	218.75	179.80	4.12	21.67	197.92	510.54
Costo	Q 730.63	Q 1,371.14	Q 48.90	Q 72.37	Q 661.04	
Costo promedio total	Q 2,884.08					

Tabla No. 159. Lista de precios EMPAGUA.

Rango de consumo por metro cúbico	Precio del metro cúbico (No incluye IVA)	(+) Alcantarillado sobre total de consumo	(+) CARGO FIJO (No incluye IVA)
1 a 20	Q 1.12	20%	Q 16.00
21 a 40	Q 1.76	20%	Q 16.00
41 a 60	Q 2.24	20%	Q 16.00
61 a 120	Q 4.48	20%	Q 16.00
121 a más	Q 5.60	20%	Q 16.00

Para las mangueras con motor, canaletas y válvulas dado que es agua tratada por la empresa, se utiliza como referencia el costo de Q3.34 por metro cúbico. Este costo es el que EMPAGUA da de referencia con respecto a la producción de 1 metro cúbico de agua, es decir, a EMPAGUA le cuesta esa cantidad de dinero por 1 metro cúbico de agua producida. Por lo tanto para lo mencionado anteriormente está siendo utilizado para limpiar los tanques de sedimentación bajo este costo.

Ahora con el caso de las mangueras del chorro y las mangueras pequeñas, se utiliza el agua ya comercializada, a lo que se llega a utilizar la "Tabla 6 – Lista de precios EMPAGUA", para el cálculo respectivo de dichas mangueras:

Las mangueras del chorro junto con las mangueras pequeñas, entran en el rango de consumo por metro cúbico de 121 a más, lo que representa un precio de Q5.60 por metro cúbico más el alcantarillado, el cargo fijo y el IVA.

Lo cual se obtiene un costo promedio total de agua utilizada de Q 2,884.08 para realizar los cálculos respectivos del total mensual y anual:

Tabla No. 160. Costos de agua utilizada mensual.

	Lavados	Tanques	Lavados anuales	Lavado mensual	TOTAL (Mensual)
Invierno	13	4	52	8.67	Q24,995.33
Verano	9	4	36	6	Q17,304.46

Para un total anual de costos de agua utilizada en limpieza de:

Tabla No. 161. Costo anual de agua utilizada.

Verano costo total	Q103,826.77
Invierno costo total	Q149,971.99
Costo anual	Q253,798.76

Luego es necesario el cálculo del agua vaciada en los tanques de sedimentación y la determinación del costo de los lodos dado que estos también representan un costo para la empresa.

Costo de vaciado de tanque de sedimentación:

Utilizando el costo de Q 3.34 por metro cúbico de agua se puede realizar un cálculo del costo de producción cuando los tanques están llenos. Es necesario realizar el cálculo de agua producida para luego utilizar ese costo con la producción total en volumen del tanque:

Agua	Costo Empagua	Total
2,703.00	Q3.34	Q9,028.02

La capacidad de cada tanque de sedimentación es de 3,780 metros cúbicos, pero en realidad se encuentran 2,703 metros cúbicos de agua, dado que el remanente pertenece a los lodos. Por lo tanto se tiene una mezcla de agua más lodos.

La cantidad de agua que se encuentra en el tanque representa un costo de:

$$\text{Agua en el tanque de sedimentación} = 2,703 * Q3.34$$

$$\text{Agua en el tanque de sedimentación} = Q9,028.02$$

Por lo tanto la capacidad del tanque de sedimentación (Agua más lodos) representa un costo de producción de Q 9,028.02 el cual será utilizado para dar proporción de costos a los lodos.

Tabla No. 162. Proporción de costos por vaciado.

	Volumen	Porcentaje	Costo
Capacidad de los tanques de sedimentación	3,780.00	100%	Q9,028.32
	2,703.00	71.51%	Q6,455.96
	1,077.00	28.49%	Q2,572.35

Realizando una simple proporción se puede llegar a determinar la cantidad de agua, en volumen, conociendo la cantidad de lodo que se encuentra en el tanque. De esta forma fue como se logró determinar los 2,703 metros cúbicos de agua. Los 1,077 metros cúbicos de lodo se lograron obtener por un estudio previo el cual determinó esa cantidad de lodo que se almacena en los tanques de sedimentación.

Es necesario tratar todo como volumen producido, con el fin de darle un costo a los lodos, dado que EMPAGUA dedica tiempo, personal y materiales químicos para la producción de éste. Por lo tanto al tomar el costo restante de Q 2,572.35 y dividirlo por el volumen de lodo 1,077 se obtiene un costo aproximado de producción de los lodos de Q 2.39 con gastos administrativos. Para tener más claro el concepto del costo de los lodos es más fácil verlo desde el punto de vista de la proporción de producción actual que tiene la planta, por ello se muestra la siguiente tabla:

Tabla No. 163. Cálculo de porción extra de lodo.

	Producción en m ³	Porcentaje de 1 m ³	Producción de lodo al llegar a 1 m ³ de agua	Total de Volumen producido m ³
Agua	0.715079365	71.51%	100.00%	1.398
Lodo	0.284920635	28.49%	39.84%	

Al producir 1 metro cúbico de agua se produce una cantidad de 0.3984 m³ de lodo.

Tabla No. 164. Costo individual de agua y lodo.

Volumen producido [m3]	Porcentaje	Costo	
1.3984	100%	Q3.34	<i>por 1 metro cúbico de agua</i>
1	71.51%	Q2.39	Costo en Agua
0.3984	28.49%	Q0.95	Costo en Lodo
1	100%	Q2.39	Costo en Lodo

En la tabla anterior se puede apreciar que cuando EMPAGUA produce 1 metro cúbico de agua, en realidad produce 1.3984 m³ de producto final, el cual incluye agua más lodos. Con ello se puede realizar una proporción del costo actual de los lodos y del agua producida.

Según EMPAGUA, a la planta "LO DE COY", su costo de producir 1 m³ de agua es de Q0.50 y los Q2.84 restantes pertenecen a los gastos de la empresa. Por lo tanto ahora es posible calcular el costo de producir 1 m³ de lodo y los gastos administrativos incurridos en ello utilizando la misma proporción de producción. Las siguientes tablas muestran el costo total del lodo con sus gastos:

Tabla No. 165. Costo por metro cúbico de material.

Volumen de	Costo total por m ³	Cantidad [m3]	Volumen de
Producto final	Q3.34	1.3984	Agua + Lodo
Agua	Q2.39	1.0000	Agua
Fracción de lodo	Q0.95	0.3984	Lodo
Lodo	Q2.39	1.0000	

Tabla No. 166. Costo de producción.

Volumen de	Costo de producir 1 m ³	Cantidad m ³	Volumen de
Producto final	Q0.50	1.3984	Agua + Lodo
Agua	Q0.36	1.0000	Agua
Fracción de lodo	Q0.14	0.3984	Lodo
Lodo	Q0.36	1.0000	

Tabla No. 167. Gastos administrativos.

Volumen de	Total gastos administrativos por m ³	Cantidad m ³	Volumen de
Producto final	Q2.84	1.3984	Agua + Lodo
Agua	Q2.03	1.0000	Agua
Fracción de lodo	Q0.81	0.3984	Lodo
Lodo	Q2.03	1.0000	

En el momento de realizar el vaciado de tanque se diluye un 50% de lodos con agua pero luego el restante 50% también es desechado, para lo cual se obtiene un costo de vaciado por tanque de Q9,028.32

Tabla No. 168. Costo de vaciado por tanque.

	Cantidad (m3)	Costo/m3	Costo administrativo	Costo total
Agua	2,703.00	Q0.36	Q2.03	Q6,455.96
Lodo	1,077.00	Q0.36	Q2.03	Q2,572.35
			TOTAL	Q9,028.32

Por lo tanto el total anual y mensual es de:

Tabla No. 169. Costo de vaciado mensual.

	Lavados	Tanques	Lavados anuales	Lavado mensual	TOTAL (Mensual)
Invierno	13	4	52	8.67	Q78,245.42
Verano	9	4	36	6	Q54,169.91

Tabla No. 170. Costo de vaciado anual.

Verano costo total	Q325,019.45
Invierno costo total	Q469,472.54
Costo anual	Q794,491.99

Lo que representa el costo de vaciado de tanques anualmente para la empresa Q 794,491.99.

Con todos los costos ya realizados se puede proseguir a dar el resumen del total de costos de lavado anual y mensual, esto se muestra en el siguiente resumen y cuadro:

Costo total de lavado anual

$$= \text{Costo Anual de Sueldos en limpieza} + \text{Costo anual de agua utilizada} \\ + \text{Costo de vaciado de tanques}$$

Tabla No. 171. Total de costos anuales y mensuales de limpieza de tanques de sedimentación.

Total anual	Total mensual
Q1,083,905.71	Q90,325.48

Al momento de realizar el análisis se puede ver la gran cantidad de dinero desperdiciado o desechado, el cual no han tomado en consideración.

2. Evaluación de la propuesta de implementación de una planta de secado de lodos. En este caso se desea implementar una planta de secado de lodos, la cual los días de limpiado de tanques de sedimentación tienen un horario de 5 am a 7 am para el primer flujo recuperado y para el segundo un horario de 7 am a 12 pm.

Por lavada realizada se recuperan los siguientes flujos:

Agua recuperada:

Tabla No. 172. Flujo de agua recuperada.

Horario		Flujo [L/s]	Flujo [m ³ /s]	Flujo [m ³ /h]	Recuperado m ³
Cantidad de horas	5 AM - 7 AM	350	0.35	1,260.00	2,520.00
Horario		Flujo [L/s]	Flujo [m ³ /s]	Flujo [m ³ /h]	Recuperado m ³
Cantidad de horas	7 AM - 12 PM	33.97	0.03397	122.292	611.46

Para lo cual se tiene una recuperación total de 3,131.46 metros cúbicos de agua por lavada, lo cual representa una recuperación de dinero de Q 7,479.32. Esta cantidad de dinero fue calculada en base al costo de Q2.39 que se calculó anteriormente en los costos de vaciado de tanque de sedimentación.

Lodos recuperados:

Tabla No. 173. Flujo de lodo recuperado.

Horario		Flujo [L/s]	Flujo [m ³ /s]	Flujo [m ³ /h]	Recuperado m ³
Cantidad de horas	7 AM - 12 PM	17.77	0.01777	63.972	319.86

Con la tabla anterior se puede ver claramente que hay una recuperación de dinero de Q763.97, el cual fue calculado en base al costo de Q2.39, pero es necesario ver que hay un

remanente de lodos que no se ha recuperado. En este caso al momento de vaciar los tanques se tienen 1,077 metros cúbicos de lodo, por lo tanto restando el total recuperado se tiene un total no recuperado de 757.14 metros cúbicos que representan Q 1,808.39 que no se han logrado recuperar en cada vaciado.

Por lo tanto se tiene un flujo total recuperado de 319.86 metros cúbicos de lodo, los cuales entran a un filtro y luego son mezclados por medio de un tornillo sin fin con una dosificación de cal. Este será un añadido que se le incorporará al lodo siendo este de 2,936.55 libras por hora, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla No. 174. Flujo de cal a utilizar.

Cantidad de horas	Horario	Flujo [Kg/s]	Flujo [Kg/h]	Flujo [lb/h]/[m ³ /h]	Utilizado [lb]	Utilizado [m ³]
	7 AM - 12 PM					
5		0.37	1,332.00	2,936.55	14,682.77	3.03
				0.61		0.94%

Por 5 horas que se estará dosificando cal se utilizarán 14,682.77 libras (6,659.99 Kg), 3.03 m³ que tienen un costo de Q 6,525.68, el precio de la cal puede ser encontrado en el anexo de "Lista de precios".

Con los datos del lodo producido por EMPAGUA (Ver anexo de Lista de precios) se puede ver que producir 1 metro cúbico de lodo produce 2,521.53 libras de lodo ó 1,143.75 Kg, lo cual es un costo de Q 0.095 por 100 libras ó 45.36 Kg. Dato el cual se utilizará para la determinación del costo por saco de 45.36 Kg que se desea empacar.

Las medidas sugeridas del saco pueden ser las siguientes:

Tabla No. 175. Medidas sugeridas del saco de lodo.

Medidas de un saco de cemento (Utilizado como referencia)	Medida [cm]	Medida [m]
Alto	65	0.65
Ancho	45	0.45
Grueso	18	0.18
Capacidad volumétrica	52650	0.05265

Un saco puede almacenar	0.05265	m ³
-------------------------	---------	----------------

Con lo cual se puede apreciar que estas medidas de saco pueden almacenar 0.05265 metros cúbicos de lodo con cal producidos. Al saber la capacidad de un saco se puede calcular el peso en libras que puede almacenar, para lo cual se obtuvo lo siguiente:

Tabla No. 176. Producción en sacos por metro cúbico de lodo.

Especificaciones de un saco de lodo	Medida [m]	Volumen [m3] 0.05265
Alto	0.65	
Ancho	0.45	
Grueso	0.18	
Peso [lbs]	132.76	
Reducción de 32.76 libras	100.00	
Total de sacos por m ³	25	

Por lo tanto en 1 m³ se podrán llenar 25 sacos de producto terminado de lodo más cal tratado.

Luego de haber analizado los flujos recuperados y la cantidad de lodo que puede ser tratado se prosigue al cálculo de los costos incurridos para la producción de 1 saco de lodo.

Tabla No. 177. Cálculos para la determinación del costo por cada saco de lodo.

Necesario para la producción	Datos	Costos	Total
Costo de saco vacío (nuevo) con 45.36 kg de lodo producido (Q2.40 + Q0.10)		Q 2.50	Q 2.50
Sueldo por hora por empleado		Q 26.98	
Empleados totales encargados de la planta de secado de lodos	10	(Cantidad de empleados) x (Sueldo por hora)	
Total sueldo por hora de mano de obra		Q 269.81	
Total de producto producido en m ³	322.89		
Cantidad de sacos producidos por m ³ de lodo tratado más cal	25	más una fracción de 0.22 sobrante de saco	
Capacidad de producción (Total producido m ³ * cantidad de sacos)	8,142	se incluyen la fracción de sobrante	
Desperdicios del 15%	1221		
Eficiencia Posible de la planta	85.00%		
Capacidad total de sacos producidos por lavada	6,920		
Total promedio de sacos al mes	50,796	esta es la capacidad promedio de la planta al mes con una eficiencia del	
Cantidad de sacos que pueden ser producidos por hora (Sacos * F)	1,628	de lodo y cal utilizado por la cantidad de sacos	
Desperdicios del 15%	244		
Eficiencia Posible de la planta	85%		
Total de sacos producidos por hora	1,384	cantidad de sacos por el 85% de eficiencia	
Costo de Cal Utilizada Diariamente (Cantidad de libras * precio por libra)		Q 6,525.68	
Costo de Cal por Saco producido (COD)		Q 0.94	Q 0.94
Consumo 2 Motores 5 Hp 11.8 Amp en KWh	70.28		
Consumo Motor 10 Hp 23.6 Amp en KWh	70.28		
Total Consumo Energético diario en KWh	140.56		
Consumo Energético Promedio mensual en KWh	1031.7104		
Precios			
Cargo Fijo por cliente (SIN IVA)	707.78 Q/Usuario	Q 707.78	
Energía sin IVA (primeros 106 KWh)	1.391214 Q/KWh	Q 147.47	
Tarifa Media Tensión con demanda fuera de punta	1.391214 Q/KWh		
Energía (sin IVA) KWh Restantes (925.71 KWh)	1.391214 Q/KWh	Q 1,287.86	
Total Cargos sin IVA		Q 2,143.11	
Total Cargo con IVA		Q 2,400.28	
Tasa Municipal (Cobro por cuenta de terceros)(SIN IVA)(13%)		Q 278.60	
TOTAL Promedio Mensual		Q 2,678.89	
Costo de Energía Eléctrica por Saco Producido (COI)		Q 0.05	Q 0.05
Costo total por producir un saco de lodo	Incluye (Costo de saco vacío) + (COI) + (COD)	Q 3.50	3.50
Costo total por producir un saco de lodo	Sin modificaciones	Q 3.50	3.50

Donde se tiene un costo de sacos a utilizar, el costo de cal por saco producido y la energía eléctrica utilizada en un día de producción.

Se han puesto diez operarios a trabajar en la planta de secado y empackado de los lodos, esto es dado a que la producción de lodos tratados es grande. Si se pone el caso de que el proceso no fuera semiautomatizado, la producción sería tan grande que los operarios no se darían a vasto, por ello se muestra lo siguiente:

Tabla No. 178. Ejemplo de la carga de empleados sin proceso automatizado.

Número de empleados	Producción diaria al 85% de eficiencia	Producción por empleado	Producción por hora	Producción por minuto
1	6,920	6920.44	865.06	14.42
5	6,920	1384.09	173.01	2.88
10	6,920	692.04	86.51	1.44
15	6,920	461.36	57.67	0.96
20	6,920	346.02	43.25	0.72
25	6,920	276.82	34.60	0.58
30	6,920	230.68	28.84	0.48
35	6,920	197.73	24.72	0.41

Lo que nos muestra que con quince empleados trabajando el turno de 8 horas, luego de que los lodos salgan del proceso de secado tendrían que llenar cada uno 0.95 sacos de lodo por minuto para lograr terminar el trabajo en 8 horas, lo cual es un poco absurdo al ver que la producción por empleado es de 457 sacos, al 85% de eficiencia de la planta, suponiendo una demanda sobre la capacidad de la planta. Se podría calendarizar el tiempo de empackado, pero cabe mencionar que son días muy cercanos al calendarizado de limpieza de tanques de sedimentación. (Ver anexo calendarización)

Por lo tanto una buena opción para reducir el tiempo de empackado y hacer más eficiente el proceso es de automatizarlo, por medio de una empackadora industrial, en este caso una "Ensacadora automática" vertical FFS, la cual puede ser utilizada para una producción de 24 sacos por minuto. Lo que reduce el problema del tiempo de empackado y de ergonomía de los empleados. Los costos de la ensacadora automática serán introducidos dentro de la inversión inicial del proyecto el cual será valuado más adelante en la parte de evaluación cuantitativa. Los precios de la inversión inicial pueden ser vistos en el anexo de "Lista de precios".

Es necesario poder ver la capacidad de la maquinaria y ver su capacidad máxima en 8 horas continuas de trabajo, para lo cual se muestra la siguiente tabla:

Tabla No. 179. Cálculo de la eficiencia de la maquinaria con la capacidad de lodo recuperado.

Automatización		Capacidad maquinaria 24 Sacos por minuto			
Tiempo	Producción [#Sacos]	Producción Entrante [#Sacos]	Eficiencia necesaria de la maquinaria	Tiempo	Producción [#Sacos]
1 minuto	24	6,920	60%	1 minuto	14
1 Hora	1440			1 Hora	857
8 Horas	11520			8 Horas	6856

Por lo tanto se puede apreciar que la maquinaria tiene una capacidad de producción de 11,520 sacos por 8 horas continuas de trabajo. Suponiendo la demanda de 6,856 sacos, la cual es la capacidad máxima de la planta al 85% de eficiencia, llevaría a una eficiencia del 60% de la capacidad total de la maquinaria, lo que nos muestra que en días donde se junte la producción de un día anterior la maquinaria puede darse a vasto en empacar lo necesario.

La distribución sugerida de los empleados para la implementación de la propuesta debería ser la siguiente:

Tabla No. 180. Distribución de nuevos empleados.

Distribución de los empleados	Número de empleados
Llenado de banda transportadora	3
Supervisión de empacado	1
Recepción de sacos	3
Almacenaje de sacos	3
Total	10

Con el fin de tratar de mantener una línea balanceada del proceso. En este caso el llenado de la banda transportadora puede ser realizado por tres operarios, los cuales estarían dedicados al llenado de la banda ya sea por medio de trabajo manual o la utilización de maquinaria más pesada.

La supervisión del empacado puede ser realizado por una persona, dado que el proceso es automático, éste únicamente estaría supervisando el funcionamiento y control de la maquinaria. La recepción de los sacos puede ser realizado por dos ó tres operarios, los cuales estarían encargados de poner en pallets los sacos de lodo tratado. El almacenaje puede ser realizado por tres empleados, los cuales estarían encargados de realizar el orden correspondiente de los sacos para su pronta distribución.

Costo total de producir un saco de lodo:

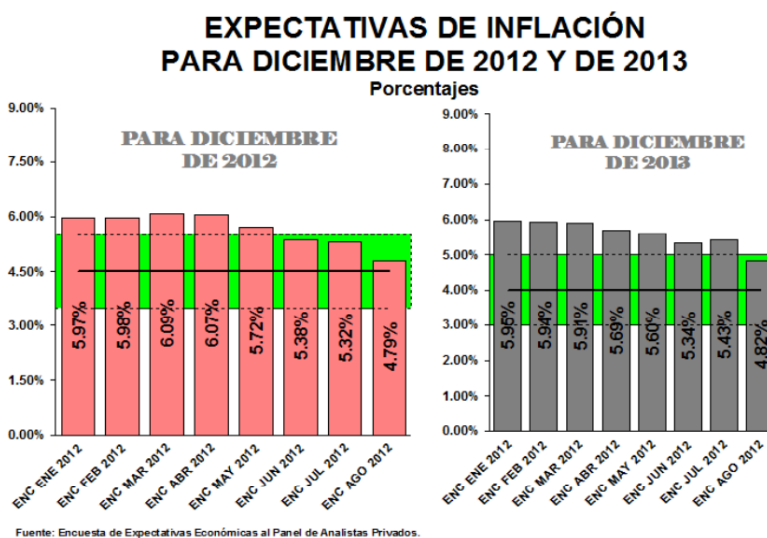
Al sumar los valores de costos involucrados para la realización de un saco final de lodo, se puede apreciar un costo total por producir un saco de lodo de Q3.49, lo que da posibilidad de tener un margen alto para conseguir un buen beneficio del proyecto.

3. Precio del producto final.

Factor que afecta el precio del producto:

En este caso es necesario tratar el tema de la inflación, dado que es un factor que afecta a nuestro precio del producto. Esto es debido a que cada año tiene un incremento o decremento, dado que es variable. Es difícil lograr determinar con exactitud la variación de la inflación. Por ello según el banco de Guatemala, con las expectativas realizadas en el mes de octubre de inflación en el país para diciembre del año 2012 para 2013 se utilizará una inflación del 5.5%, el cual es su límite superior en promedio. (BANGUAT, 2012)

Figura No. 64. Expectativas de inflación según BANGUAT.



En la siguiente sección se tratará el precio sugerido, pero es necesario tratar el tema de la inflación sobre el precio sugerido, por lo que se obtiene la siguiente tabla y gráfica para mostrar el comportamiento del precio durante los años con el efecto de la inflación

Tabla No. 181. Comportamiento del precio con el efecto de inflación durante el tiempo.

AÑO	PRECIO
1	Q 16.00
2	Q 16.88
3	Q 17.81
4	Q 18.79
5	Q 19.82
6	Q 20.91
7	Q 22.06
8	Q 23.27
9	Q 24.55
10	Q 25.91

Gráfica No. 11. Efecto de la inflación sobre el precio de venta.



Precio sugerido por saco de lodo tratado:

Para poder realizar el análisis del precio correcto para el producto final de lodo es necesario ver los precios de fertilizantes promedio en Guatemala. (Ver anexo de lista de precios)

En este caso se trata de un precio promedio de Q 185.00 en el cual no puede competir la producción de sacos de lodos producidos, dado que carece de varios nutrientes para poder ser catalogado como fertilizante. En este caso estaría actuando como un añadido, por lo que un precio justo debería rondar entre un 10 y 15 por ciento del valor de un fertilizante. En este caso puede ser el precio de Q 16.00 que representa el 8.64 % del precio de un fertilizante.

El precio de Q 16.00 nos da un margen de 457% sobre el valor del producto que es de Q 3.50, es decir que se obtiene una utilidad de Q12.50 por saco que se venda.

4. Evaluación cuantitativa.

Inversión Inicial:

La Inversión Inicial para la maquinaria puede ser encontrada en el anexo de lista de precios. Se debe agregar una inversión inicial de capacitación de personal y de elaboración de una bodega para el almacenamiento del producto final.

En este caso se ha utilizado a la empresa INFYMSA de Guatemala, los cuales hacen estudios de reingeniería, fabricación y montajes industriales. Esta empresa puede hacer la instalación completa de las bandas transportadoras realizadas con bandas flush grid de intralox, para el transporte de los lodos y al proceso de empaclado.

Tabla No. 182. Inversión Inicial del proyecto.

Inversión Inicial	INFYMSA Q 4,099,024.66
Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento	16%

Se contempla una inversión inicial de Q 4,099,024.66 para la elaboración de todo el proyecto, lo cual a simple vista es demasiado, pero cabe mencionar que es necesario de esta inversión para lograr montar toda la planta de tratamiento de lodos de una forma adecuada.

Determinación de los costos:

Dentro de los egresos a ser utilizados en la evaluación se encuentra el lodo no recuperado. En este caso se trata de la porción de lodo que no se recuperará en cada lavado, esto es dado a que es demasiada la cantidad de lodo que se produce para ser tratado. Si la demanda creciera en una forma positiva, la planta puede realizar sus ajustes para obtener una mayor cantidad de lodos.

Otro de los egresos es el lodo no utilizado por meta de demanda. En este caso al estar al 85% de eficiencia en la planta no se recupera todo el lodo producido. Al bajar esta eficiencia para una meta de demanda se pierde otra porción de lodo que no se estará utilizando. Por lo tanto se tratará de dar un enfoque de “Produce lo que vendes” y no “Produce lo que no puedes vender”. Esto se hace para evitar los altos costos de almacenamiento de la planta, el cual es otro de los egresos a tomar en cuenta, el “Costo de almacenar inventario”.

Uno de los principales es el “Costo de producción”, el cual ha sido calculado anteriormente. Cabe mencionar que se tomará en cuenta también el “Costo en cal utilizada” para la mezcla con lodo y producto final.

La planta produzca o no produzca lodos, siempre tendrá un costo fijo de sueldos, por lo que éste es otro de los egresos a tomar en cuenta, el “Sueldos de los empleados”.

El producto no puede ser vendido si no se ha realizado una campaña de mercadeo, es por ello que los primeros años se tendrá un “Costo de mercadeo” el cual varía con respecto a los años. Para los primeros 3 años se tendrá un costo sobre las ventas del 30%. Para los años 4, 5, 6 y 7, se tendrá un 20% dado que la introducción ya se ha realizado en los primeros años. Por último para los años 8, 9, y 10 se tendrá un costo sobre ventas del 10%.

El producto debe ser comercializado, es por ello que se involucra el “Costo de Distribución”, El cual actúa de la misma forma que el costo de mercadeo, siempre sobre las ventas. En este caso para los primeros años de ventas, es decir los primeros 3 años, se tendrá un costo sobre ventas del 10%. Se empieza con un porcentaje menor dado que no hay mucha demanda. Luego para los años 4, 5, 6, y 7 se tiene un 20%. Por último el resto de años 8, 9, y 10 tendrán un costo sobre ventas del 30% dado que por este período se tendrá una meta mayor de la demanda propuesta.

El resumen del flujo de efectivo calculado se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla No. 183. Resumen Flujo de Efectivo.

AÑO	FLUJO DE EFECTIVO NETO
0	Q (4,380,109.45)
1	Q 193,831.75
2	Q 378,502.85
3	Q 618,502.34
4	Q 924,373.53
5	Q 1,140,477.39
6	Q 2,242,002.52
7	Q 2,468,360.99
8	Q 2,712,734.84
9	Q 2,963,520.52
10	Q 3,232,504.26

Los cálculos realizados del ejercicio pueden ser vistos en la sección de resultados, como un flujo de efectivo más detallado.

El punto de equilibrio es un tema de suma importancia para lograr encontrar el punto de producción el cual necesita la planta para no tener pérdidas ni ganancias. Es por ello que se calcularon los puntos de equilibrio para los años evaluados de producción, con las metas establecidas para la demanda objetivo.

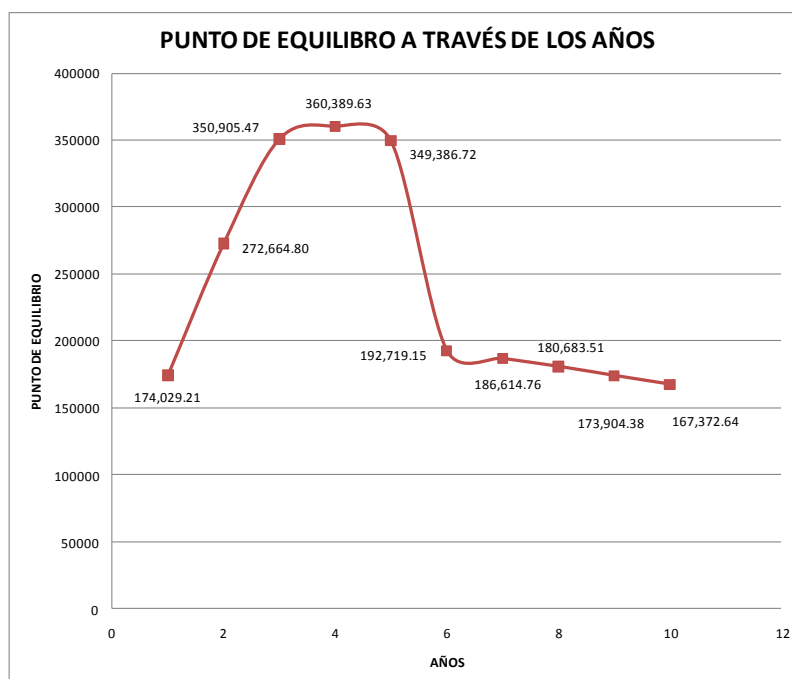
Los datos del punto de equilibrio se muestran a continuación:

Tabla No. 184. Punto de equilibrio.

Año	Punto de equilibrio
1	174,029.21
2	272,664.80
3	350,905.47
4	360,389.63
5	349,386.72
6	192,719.15
7	186,614.76
8	180,683.51
9	173,904.38
10	167,372.64

Por lo tanto se requiere producir un número de cantidad de sacos producidos finales para que la empresa no tenga pérdidas ni ganancias, como anteriormente se mencionó.

Gráfica No. 12. Punto de equilibrio de la propuesta.



Con el gráfico anterior se puede ver claramente que los primeros años son los más fuertes y que al final la demanda se regula. Esto es dado a que ciertos costos han disminuido, como lo es el costo de mercadeo, el de comercialización se ha regulado con una demanda más estable.

5. Evaluación cualitativa. Según los resultados obtenidos de los flujos de efectivo proyectados que pueden ser visto en la sección de resultados y aplicando el criterio de evaluación de proyectos de la TIR y la TMAR se puede ver claramente que la TIR (21.99%) es mayor que la Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (16%), lo cual hace rentable al proyecto. Por medio del criterio del valor presente neto, se obtuvo un valor de Q1, 651,110.86 lo cual, al ser positivo nos muestra su rentabilidad.

Análisis de sensibilidad:

Para la realización del análisis de sensibilidad se utilizaron como variables la inflación, el precio de venta, la población, el número de empleados y el costo de distribución sobre ventas para los años 8, 9 y 10. Lo cual provee la siguiente tabla:

Tabla No. 185. Análisis de Sensibilidad.

INFLACIÓN VS TIR			
PORCENTAJE		INFLACIÓN	TIR
75%	REDUZCO - 25%	4.1250%	19.59%
100%	ACTUAL	5.50%	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	6.87500%	24.29%

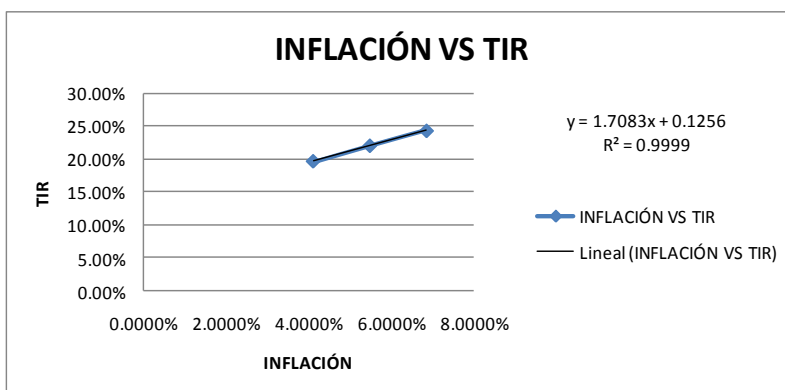
PRECIO DE VENTA VS TIR			
PORCENTAJE		PRECIO DE VENTA	TIR
75%	REDUZCO - 25%	Q12.00	9.58%
100%	ACTUAL	Q16.00	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	Q20.00	32.44%

EMPLEADOS VS TIR			
PORCENTAJE		EMPLEADOS	TIR
75%	REDUZCO - 25%	7.5	22.13%
100%	ACTUAL	10	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	12.5	21.84%

COSTO DE DISTRIBUCIÓN VS TIR			
PORCENTAJE		COSTO DE DISTRIBUCIÓN	TIR
75%	REDUZCO - 25%	22.50%	23.57%
100%	ACTUAL	30%	21.99%
125%	AUMENTO - 25%	37.50%	20.18%

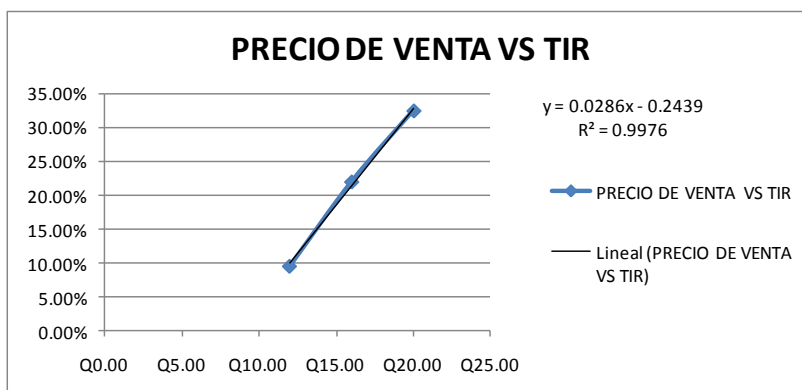
Pero es necesario ver qué variable es la más sensible al cambio, por ello se utilizan gráficas que muestren una línea de tendencia y su ecuación, de esa forma se puede apreciar el comportamiento de la pendiente en la gráfica y determinar la más sensible de todas:

Gráfica No. 13. Inflación vs TIR.



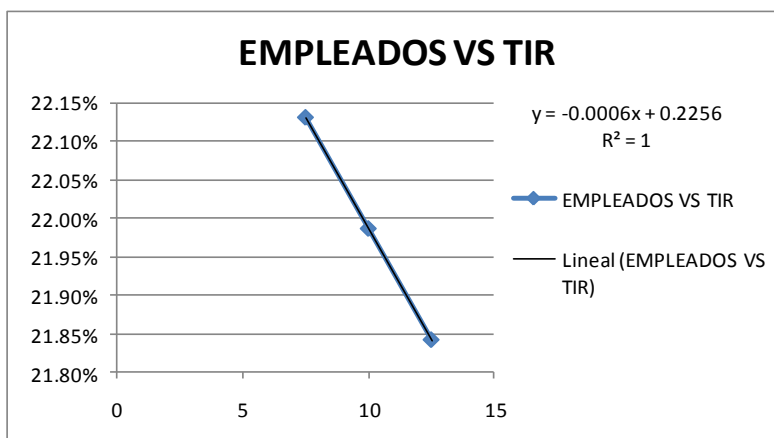
Por cada 1% que cambie la inflación el TIR cambia en 1.7083%

Gráfica No. 14. Precio de venta vs TIR.



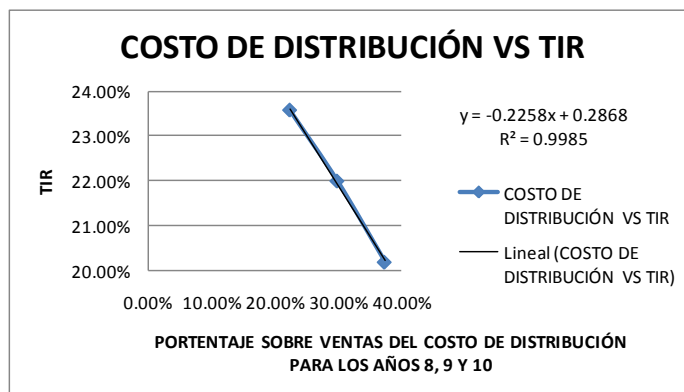
Por cada Q1.00 que se incremente o reduzca el precio de venta, la TIR cambiará en 0.0286%

Gráfica No. 15. Empleados nuevos vs TIR.



Por cada empleado nuevo que entre a la planta de secado de lodos, el TIR varía en 0.0006 %.

Gráfica No. 16. Costo de distribución últimos años vs TIR.



Con el cual se puede apreciar que si el costo de distribución sobre ventas aumenta o disminuye en 1% el TIR varía en 0.2258%.

La variable más sensible al cambio es la inflación, esto es dado a que también afecta al precio de venta y a nuestros costos de igual forma. Los costos de distribución, muestran ser otra variable sensible, pero éste puede ser manipulado, por lo tanto con buenas relaciones de empresas o comprando vehículos para la distribución se puede lograr reducir éste costo.

Tiempo de recuperación:

Tabla No. 186. Tiempo de recuperación.

Año	Flujo de Efectivo Neto	FE Acumulado	Recuperado
0	Q (4,380,109.45)		
1	Q 193,831.75	Q 193,831.75	Q (4,186,277.70)
2	Q 378,502.85	Q 572,334.60	Q (3,807,774.85)
3	Q 618,502.34	Q 1,190,836.93	Q (3,189,272.51)
4	Q 924,373.53	Q 2,115,210.46	Q (2,264,898.99)
5	Q 1,140,477.39	Q 3,255,687.85	Q (1,124,421.60)
6	Q 2,242,002.52	Q 5,497,690.37	Q 1,117,580.93
7	Q 2,468,360.99	Q 7,966,051.36	Q 3,585,941.92
8	Q 2,712,734.84	Q 10,678,786.20	Q 6,298,676.76
9	Q 2,963,520.52	Q 13,642,306.72	Q 9,262,197.28
10	Q 3,232,504.26	Q 16,874,810.98	Q 12,494,701.53

Con los flujos de efectivo realizados se puede calcular un flujo de efectivo neto acumulado, el cual se encarga de ver en qué momento se realiza la recuperación de la inversión inicial restando la inversión inicial del flujo de efectivo neto acumulado. En el cuadro anterior se puede

apreciado el período de recuperación de la inversión inicial, localizándose éste entre los años cinco y seis.

Q. Escenario de jardinización

En este caso, se logró contactar con la sección de “Parques y Áreas Verdes” de la Municipalidad de Guatemala, con el fin de conseguir los datos de la cantidad de kilogramos de fertilizante utilizado anualmente y la cantidad de dinero que eso representa para la jardinización de Guatemala. La información fue dada por el Ingeniero Agrónomo a cargo René Palma Espina. Para lo cual realizando el escenario de la utilización del 10% de lodos como un complemento al fertilizante y la utilización del 90% de fertilizante se obtiene lo siguiente:

Tabla No. 187. Escenario de jardinización.

Actualmente parques y áreas verdes utiliza para jardinización	
Gasto anual en fertilizantes	Q52,561.00
Cantidad de libras de fertilizante	10,500.00
Cantidad en kilogramos	4,762.72
Escenario alternativo	
Utilización del 10% de lodo y 90% de Fertilizante	
Beneficio anual para parques y áreas verdes (10% del gasto anual de fertilizante)	Q 5,256.10
Fertilizante no utilizado en kilogramos (10% que será usado en lodos tratados)	476.27
Cantidad de lodos tratados como complemento del 10% en kg	476.27
Costo por producir 45.36 kg de lodo tratado	Q 3.50
Costo por producir 1 kg de lodo tratado	Q 0.08
Costo anual en el 10% de lodos utilizados como complemento	Q 36.70

Para lo cual se obtiene un costo anual de Q36.70 por utilizar el lodo tratado como un complemento del 10% y el restante 90% de fertilizante en la jardinización. Esto sería un egreso como donación para el uso como complemento en jardinización. Cabe mencionar que este modesto egreso no afecta en gran medida al TIR obtenido ni al tiempo de recuperación de la inversión.

R. Matriz de riesgos.

Tabla No. 188. Matriz de riesgos.

		Consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad		Insignificante	Menor	Moderada	Mayor	Severa
	1	Raro	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO
2	Improbable	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
3	Posible	BAJO	MODERADO	ALTO	EXTREMO	EXTREMO
4	Probable	MODERADO	ALTO	ALTO	EXTREMO	EXTREMO
5	Casi Seguro	ALTO	ALTO	EXTREMO	EXTREMO	EXTREMO



Es recomendable para la clasificación tener en cuenta lo siguiente:

EXTREMO:	Deben ponerse en conocimiento de los directores y ser objeto de seguimiento permanente
ALTO:	Requieren la atención del Presidente / Director General / Director Ejecutivo
MODERADO:	Deben ser objeto de seguimiento adecuado por parte de los niveles medios de dirección
BAJO:	Deben ser objeto de seguimiento por parte de los supervisores

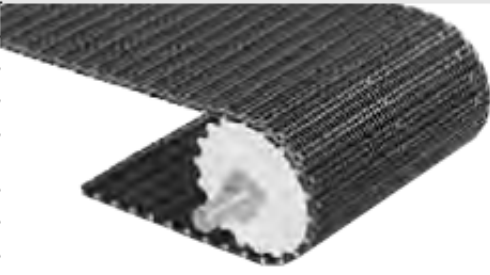
(<http://necksize.wordpress.com/2010/05/11/matriz-de-riesgo-una-herramienta-rapida-y-eficaz/>)

Bajo este criterio de probabilidad de ocurrencia y la consecuencia que puede dar el riesgo, se pueden clasificar como en extremo, alto, moderado o bajo. Los riesgos son clasificados más que todo por el efecto hacia una persona y el impacto monetario que puede representar a la empresa.

S. Ficha técnica de la malla TWP acero inoxidable 304 no. 8

		TWP Inc 2831 Tenth St. Berkeley, CA 94710 USA phone 510-548-4434 800-227-1570 fax 510-548-3073 website www.twpinc.com	
		PRODUCT DATA SHEET	
80 Mesh T304 Stainless .0055" Wire Dia. 48 Inch Wide			
	Name:	80 Mesh T304 Stainless .0055" Wire Dia. 48 Inch Wide	
	Part Number:	080X080S0055W48T	
	Material:	Stainless Steel	
Mesh:	80 x 80 per Inch (per 2.54 cm)	Wire Diameter:	0.0055 Inch 0.1397 mm
Opening Size:	0.0070 Inch 0.18 mm 178 microns	Open Area Percentage:	31 %
Overall Thickness:	0.011 Inch 0.2794 mm	Weight per Square Foot:	0.17 pounds Weight per Sq. Meter: 0.83 Kg.
Full Roll Length:	100 feet 30.49 meters	Standard Widths:	36 or 48 Inches
Weave Type:	PSW	Finish (Coating):	Mill Finish
Common Name:	80 Mesh T304 Stainless .0055	Link to Product Page:	Click Here
Purchasing Units of Measure:	Full rolls or by the square foot.		
Typical Uses:	Sifting powders, lab uses		
Comments:	Bends easily by hand and cuts with tin snips		
YOUR ONE SOURCE FOR MESH MATERIALS AND PRECISION CUTTING			
TWP Inc. is a California corporation, founded in 1969, with its principal office at 2831 Tenth Street, Berkeley, California.			

T. Ficha técnica de la banda a Intralox flush grid serie 100.

Intralox		SERIE 100												
Flush Grid														
	pulg.	mm												
Paso	1,00	25,4												
Ancho mínimo	1,5	38												
Incrementos del ancho	0,25	6,4												
Dimensión de abertura (aproximado)	0,2 x 0,2	5 x 5												
Área abierta	31%													
Tipo de articulación	Abierta													
Método de accionamiento	Accionamiento central													
Notas sobre el producto														
<ul style="list-style-type: none"> • Póngase siempre en contacto con el departamento de Servicio al Cliente si desea realizar una medida precisa de la banda y comprobar el estado de las existencias antes de diseñar un transportador u ordenar una banda. • Banda liviana, relativamente fuerte con superficie superior lisa. • El paso más pequeño reduce los efectos de la acción poliédrica y la separación de la placa inactiva de transferencia. • Para más selecciones de material y desempeño de bandas más fuertes, vea los estilos Flush Grid Serie 900 y Serie 1100. 														
Información adicional														
<ul style="list-style-type: none"> • Consulte "Proceso de selección de bandas" (página 5) • Consulte "Materiales estándar para las bandas" (página 20) • Consulte "Materiales para aplicaciones especiales" (página 20) • Consulte "Factores de fricción" (página 33) 														
Datos sobre la banda														
Material de la banda	Material de las varillas estándar Ø 0,18 pulg. (4,6 mm)	CF	Resistencia de la banda	Rango de temperatura (continuo)		P	Peso de la banda	Homologación: 1=Blanco, 2=Azul, 3=Natural, 4=Grís						
				lb/pies	kg/m			°F	°C	lb/pie ²	kg/m ²	FDA (EE.UU.)	USDA-FSIS - carnes y aves	USDA lácteos ^a
Polipropileno	Polipropileno	300	450	34 a 220	1 a 104	0,54	2,64	*	*	*	*	*	3	*
Poliétileno	Poliétileno	200	300	-50 a 150	-46 a 66	0,58	2,83	*	*	*	*	*	3	*
Acetal	Polipropileno	600	890	34 a 200	1 a 93	0,78	3,81	*	*	*	*	*	3	*
Acetal EC	Polipropileno	400	595	34 a 200	1 a 93	0,78	3,81	*	*	*	*	*	3	*
Acetal ^f	Poliétileno	550	820	-50 a 70	-46 a 21	0,78	3,81	*	*	*	*	*	3	*

a. Los diseños con homologación USDA lácteos requieren el uso de sistemas de limpieza incorporados.

b. Agencia de Inspección alimentaria de Canadá



c. Servicio australiano de inspección y cuarentena

d. Ministerio de Sanidad, Trabajo y Bienestar Social de Japón

e. Certificado europeo de migración que aprueba el contacto con los alimentos según la Directiva 2002/72/CE y sus enmiendas hasta la fecha.

f. Se pueden usar varillas de poliétileno en aplicaciones en filo cuando se producen impactos o arranques/paradas repentinos. Se debe tener en cuenta que su clasificación es menor.

U. Ficha técnica motor Leeson modelo AAF2BT61.

Single Phase ODP Motors	<p>Three Phase Motors Totally Enclosed Three Phase Motors – General Purpose – Totally Enclosed – 208-230/460V & 460V Rigid Mount – ¼ HP – 400 HP Steel Frame – Aluminum Frame – Cast Iron Frame</p>
Single Phase TEFC Motors	
Single Phase C Face Motors	<ul style="list-style-type: none"> • Standard, EPACT and Premium efficient ratings • Inverter-rated • Class B insulation systems – 42, 48 and 56 frames • Class F insulation system – 140 frame and higher • Shielded ball bearings for direct coupled applications Contact your local sales office for belted load applications
Three Phase ODP Motors	
Three Phase TEFC Motors	<ul style="list-style-type: none"> • Continuous duty • Dynamically balanced rotors • 1-year warranty on Standard efficient motors • 2-year warranty on EPACT efficient motors • 3-year warranty on Premium efficient motors • Torques exceed NEMA performance standards • UL recognized and CSA certified
Three Phase C Face Motors	<p>Applications:</p>
Inverter Duty Motors	<ul style="list-style-type: none"> • For use where exposure to water, dust and corrosives exists. Ideally suited for use on pumps, compressors, fans, blowers, conveyors, machine tools and other industrial applications.
Severe Duty Motors	
Explosion Proof Motors	

Three Phase Motors Totally Enclosed

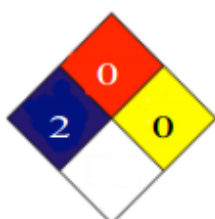
General Purpose - Standard,
Epack and Premium Efficient - Three Phase Motors

Three Phase - Totally Enclosed - Rigid Base

HP	SYN RPM 60 Hz	NEMA Frame	▼ Catalog Number	Stock	List Price	Model Number	App. Wgt. (lbs)	Voltage	F. L. Amps @ 230 V	% F.L. Eff.	Service Factor	"C" Dim. (Inches)	Inverter speed range	♥ Notes
5	3600	184T	131987.00	✓	1127	C184T34FB20	88	208-230/460	12.0	88.5	1.25	16.46	10 : 1	S, MX
	3600	184T	LM15649	✓	1376	AAF2BT61	89	230/460	11.8	89.5	1.25	16.19	10 : 1	A, US
	3600	184T	LM33565	✓	1376	AAF2BT61AP26	89	230/460	11.8	89.5	1.25	16.19	10 : 1	A, MX
	3600	184T	LM33263	✓	1127	SSF2B5TC61	83	230/460	12.0	88.5	1.25	16.46	10 : 1	S, MX
	3600	184T	LM15869	C/A	1315	CCF2BT61	108	230/460	11.8	88.5	1.15	15.81	10 : 1	C, US
1800	184T	131464.00	✓	976	C184T17FB42	87	208-230/460	12.8	89.5	1.15	15.96	10 : 1	S, MX	
	184T	LM15650	✓	1086	AAF4B5T61	104	230/460	12.4	90.2	1.25	16.19	10 : 1	A, US	
	184T	LM33487	✓	1086	AAF4B5T61AP26	104	230/460	12.4	90.2	1.25	16.19	10 : 1	A, MX	
	184T	LM33266	✓	976	SSF4BT61	87	230/460	13.8	87.5	1.15	14.96	10 : 1	S, MX	
	184T	171322.60	✓	1036	C184T17FB43	109	208-230/460	12.8	89.5	1.25	16.80	10 : 1	C, CN	
	184T	LM24195	✓	1227	CCF4B5T61	117	230/460	12.4	90.2	1.25	15.81	10 : 1	C, US	
	184T	LM60029	✓	983	CCF3B5T61AP21	109	230/460	12.8	89.5	1.15	16.80	10 : 1	C, CN	
	1200	215T	171379.60	✓	1572	C215T11FB1	176	208-230/460	14.4	89.5	1.25	19.61	10 : 1	C, CN
1200	215T	LM16033	✓	1801	AF6B5T61	138	230/460	13.8	89.5	1.15	18.70	10 : 1	A, US	
	215T	LM32802	✓	1551	SSF6BT61	140	230/460	14.0	90.2	1.15	20.23	10 : 1	S, US	
	215T	LM15883	C/A	2000	CCF6BT61	203	230/460	14.4	89.5	1.15	19.61	10 : 1	C, US	
	215T	LM60030	✓	1493	CCF6B5T61AP21	176	230/460	14.4	89.5	1.25	19.61	10 : 1	C, CN	
	900	254T	G151355.22	✓	3407	C254T8FB5A	188	208-230/460	14.4	88.3	1.15	23.23	10 : 1	C, CA
	900	254T	LM32803	✓	2521	AF8P5T61	159	230/460	15.0	87.5	1.15	23.40	2 : 1	A, US

V. Fichas técnicas compuestos químicos.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	SULFATO DE ALUMINIO	<i>Ver. : 2</i> <i>20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 1 de 5</i>



Pictograma NFPA

1.IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre Químico:	Sulfato De Aluminio
Sinónimos:	Alumbre, Torta de Alumbre, Salmuera de Alumbre, Alumbre de perla
Formula:	Al ₂ (SO ₄) ₃ .14H ₂ O
Familia Química:	Sales Inorgánicas
Registro CAS:	10043-01-1
Numero UN:	N.R
Información de la Compañía:	Nombre: Fujian Shan S.A. Dirección: Carretera central de Occidente Km 1.5 Vía Funza, Parque Industrial San Carlos, Etapa I Local 4
Teléfono de Emergencia:	5467000 – Funza

2.COMPOSICION E INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES	
Ingrediente	Sulfato Aluminio
CAS	10043-01-1
%	98 – 100
Peligroso	Si

3.IDENTIFICACION DE PELIGROS

Inhalación:	El Polvo puede causar carraspera, tos, irritación de la nariz y la garganta.
Ingestión:	Nauseas, Vomito.
Contacto con la Piel:	Irritación.
Contacto Ocular:	Irritación con posibles heridas permanentes.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	SULFATO DE ALUMINIO	<i>Ver. : 2 20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 2 de 5</i>

4.PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la persona abrigada en reposo. Buscar atención médica.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si esta consciente, suministrar abundante agua. No inducir al vomito, si este se presenta inclinar la victima hacia adelante.
Contacto con la Piel:	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar Atención médica.
Contacto Ocular:	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico.

5.MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Peligros de Incendio y/o explosión: No inflamable ni combustible.
 Productos de la combustión: Puede desprender gases tóxicos de óxidos de azufre a temperaturas superiores a 760 °C.
 Precauciones: Eliminar toda fuente de calor que lo lleve a la combustión. No inhalar los gases producidos.
 Procedimientos en caso de incendio y/o Explosión: Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.
 Agentes Extintores del Fuego: Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor.

6.MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES Y FUGAS

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición.

7.MANUPULACION Y ALMACENAMIENTO

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados.
 Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer donde esta el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	SULFATO DE ALUMINIO	<i>Ver. : 2 20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 3 de 5</i>

8.CONTROL A LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Controles de Ingeniería:	Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional o se mantenga lo mas baja posible. Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido.
Equipos de Protección Personal	
Respiratoria:	Respirador con Filtro para polvo.
Cutánea:	Overol, guantes, botas.
Ojos y Cara:	Gafas de seguridad.
Otro Tipo de Protección requerida:	Equipo de respiración autónomo.

9.PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado Físico	Sólido Granulado
Apariencia y Olor	Blanco Sin Olor Característico
Concentracion como Al ₂ (SO ₄) ₃ * 14 H ₂ O	100%
pH	3-4 en solución al 1% en agua
Temperatura de Descomposición	760 °C
Temperatura de auto ignición	No Aplicable
Punto de Inflamación	No Aplicable
Propiedades Explosivas	No Aplicable
Peligros de Fuego y Explosión	No Aplicable
Densidad de Vapor	No Detectable

10.REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

Estabilidad:	Estable en condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.
Incompatibilidades:	Corrosivo en metales con presencia de agua
Condiciones a evitar:	Humedad e incompatibles.
Productos por descomposición peligrosa:	Se hidroliza para formar ácido sulfúrico diluido. Se pueden formar óxidos de azufre tóxico y corrosivo cuando se

Consejo de Seguridad

22 – Manipulación de cilindros de gas de cloro.



1. Propiedades del cloro

El cloro es un gas licuado a presión con un olor acre. Es más pesado que el aire, soluble en agua y no inflamable. Es tóxico si se inhala e irrita los ojos y el tracto respiratorio. El cloro reacciona con la humedad en el aire para formar ácido clorhídrico, lo cual puede causar una corrosión excesiva.



Advertencia de sustancia tóxica

2. Formación

Sólo el personal formado debe manejar los cilindros de gas que contienen cloro.

La formación debe repetirse al menos una vez al año y debe basarse en las instrucciones de funcionamiento.

3. El almacenamiento de cilindros de cloro

Cuando los cilindros de cloro se almacenan, la tuerca de la válvula debe estar debidamente asegurada, junto con un sello adecuado y la tapa de protectora atornillada (capuchón). Los cilindros de gas lleno y vacío deben ser almacenados por separado.

Para evitar un calentamiento peligroso de

los cilindros de cloro, deben mantenerse fuera de la luz solar directa y deben ser almacenados a una distancia de más de 0,6 m de los radiadores.

Además, el reglamento técnico sobre los gases comprimidos (MIE-AP-005) y el Consejo de Seguridad 21, sobre „Almacenamiento de cilindros de gas“ debe ser observado.

4. El manejo de cilindros de cloro

Los cilindros de cloro no se deben tirar y deben ser protegidos para evitar que se caigan. Los cilindros de cloro deben estar conectados en una posición vertical de modo que sólo el cloro gaseoso puede ser entregado - a menos que el equipo esté diseñado para el suministro de cloro líquido.

5. Válvulas de los cilindros de cloro

Las válvulas de los cilindros de cloro deben ser operadas a mano y sin el uso de la fuerza. Las válvulas de los cilindros de cloro lleno o vacío siempre deben estar bien cerradas con la tuerca correcta (en relieve indicando cloro o Cl₂) y un sello adecuado.

6. Precauciones durante la entrega de cloro

(Las siguientes precauciones se muestran como ejemplos.)

Precauciones técnica:

- Ventilar adecuadamente las salas de cloro.
- Utilice sólo equipos de gas para el cloro adecuados y probados.
- Uso de equipos aprobados de aviso del gas y equipos de aspersión de agua (operación externa).
- Asegúrese de que existen rutas de escape de emergencia. (Las puertas de salida se deben abrir hacia fuera.)

- Renovar la conexión de sello cada vez que los cilindros de cloro que se intercambian.

Precauciones de la organización:

- Marcar todos los equipos y las salas para indicar que el cloro está presente.
- Disponer y observar las instrucciones de acuerdo con los distintos reglamentos sobre sustancias peligrosas.

También disponer de un plan de emergencia.

- Asegúrese que los cilindros llenos y vacíos están definitivamente separados.
- Asegúrese que están disponibles las protecciones de emergencia de las tapas la válvula de los cilindros de cloro.
- Use el amoníaco, por ejemplo, para poner a prueba los equipos para detectar fugas de cloro.

Precauciones personal:

- Cuando el intercambio de cilindros de cloro, use una mascarilla con filtro adecuado (por ejemplo, la máscara de cara completa con un filtro combinado / B-P3). (Realizar las pruebas de vacío y presión con una mascarilla de respiración.)



El uso de protección respiratoria

CONSORCIO ANGEL MIRANDA & CIA	FICHA TECNICA CAL HIDRATADA INDUSTRIAL "TIPO BS"	CÓDIGO FT-001
		Versión 00
		Página 1/2

REVISADO POR:	APROBADO POR: OCTAVIO FERNANDEZ
FECHA: 28 de Mayo de 2010	FECHA: 28 de Mayo de 2010

1. IDENTIFICACIÓN

- NOMBRE COMERCIAL: CAL HIDRATADA INDUSTRIAL
- NOMBRE QUIMICO: HIDROXIDO DE CALCIO
- FORMULA QUIMICA: $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- PESO MOLECULAR: 74 g/mol
- DENSIDAD:

DENSIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
Densidad Real	2200 Kg/m ³	Peso de una cantidad de cal, tal que el volumen ocupado por la materia solida es la unidad volumétrica definida.
Densidad Aparente	450 – 560 Kg/m ³	Peso de la unidad de volumen pero sin apisonar. Esta varía con la granulometría.

2. DESCRIPCIÓN

Es un material resultante de la humectación de la cal viva (óxido de calcio, CaO) hasta satisfacer su afinidad química. Polvo blanco, finamente dividido, impalpable e inoloro.

3. USOS

Se usa principalmente en la industria del cuero, acueductos, estabilización de suelos, corrector de pH en suelos ácidos y en las petroleras.

4. ESPECIFICACIONES

REQUISITO	UNIDAD	ESPECIFICACION	METODO ANALITICO
		TIPO N	
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Total	% m/m	92 Min.	I-GP-08
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Disponible	% m/m	85 – 95	NTC 1398
CaO Disponible	% m/m	65 – 72	NTC 1398
Material insoluble en ácido	% m/m	5.0 Máx.	NTC 1398 I-GP-07
Fe_2O_3	% m/m	0.5 Máx.	ASTM C – 25 – 72
Al_2O_3	% m/m	0.5 Máx.	ASTM C – 25 – 72
MgO	% m/m	2.0 Máx	ASTM C – 25 – 72
SiO_2	% m/m	1.0 Máx.	ASTM C – 25 – 72
Humedad Libre	%m/m	2.0 Máx.	I-GP-17

5. GRANULOMETRIA

TIPO DE CAL	GRANULOMETRÍA
CAL HIDRATADA	El 90% del material pasa por Malla 100

6. EMPAQUE

- Sacos de papel Kraft de doble capa de 25 Kg valvulados.
- Sacos de Polipropileno con bolsa interior de Polietileno de 25 Kg cocidos a máquina.
- Big-Bag de Polipropileno de 1000 Kg

7. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD Y MANEJO

- **TOXICIDAD:** La cal es extremadamente corrosiva. Se debe usar protección para la piel y los ojos.
- **ALMACENAMIENTO:** Evitar almacenar en lugares o ambientes húmedos.
- **CUIDADOS:** Evitar el contacto con la piel y los ojos. Evitar inhalación.
- **PRIMEROS AUXILIOS:** En caso de quemadura se debe lavar con abundante agua por 20 minutos.
- Código NFPA (Rombo de seguridad): Riesgos para la salud, No. 02; Riesgos de inflamabilidad, No. 0; Riesgos por reactividad, No. 0, Indicación especial, ninguna.

Historial del documento

Fecha de modificación	Motivo del Cambio	Versión vigente
25 de Mayo de 2010	Inclusión de los valores de Densidad Real y Densidad Aparente de la cal Hidratada.	00
25 de Mayo de 2010	Inclusión en las especificaciones del numeral 4 el requisito relacionado con la humedad de la cal hidratada.	00
25 de Mayo de 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión y realización de ajustes en los contenidos de Fe_2O_3, Al_2O_3, MgO y SiO_2 en el numeral 4 del documento. • Inclusión en el numeral 7 del documento, las indicaciones principales de la norma NFPA – 704. 	00

- No guarde filtro de respiración abierto por más de 6 meses (por ejemplo, escriba la fecha de apertura de la máscara en el filtro). Filtros sellados para respiración puede ser almacenado hasta la fecha de vencimiento de almacenamiento.
- Use guantes de protección y zapatos adecuados.

7. Procedimiento en el caso de una fuga de cloro

- Proceder de acuerdo al plan de emergencia.
- Informar a una segunda persona.
- Si la fuga de gas de cloro no se puede controlar mediante el rociado de los equipos de agua, llamar a los bomberos inmediatamente e informar que el escape es de cloro.
- Si la concentración de cloro está por

encima del nivel máximo de concentración permitido en el lugar de trabajo (0,5 ppm), usar equipos de respiración autónoma y un traje de protección química. El equipo de protección mencionado en el apartado 6 no es suficiente.

8. Primeros auxilios

- Las personas que han inhalado el gas de cloro requieren atención médica inmediata.
- Tenga cuidado de no ponerse en peligro, los reanimadores deben mover a las personas heridas a un sitio con aire fresco. En caso de que las personas afectadas no respiren, es necesaria la aplicación de respiración artificial. De lo contrario, se debe inhalar dexametasona nebulizada (con indicación y aplicación médica).
- Si el cloro entra en contacto con los ojos o

la piel, se debe enjuagar inmediatamente con abundante agua y consultar a un médico.

- La ropa contaminada debe ser quitada inmediatamente.



Primeros auxilios

Estas recomendaciones de ABELLO LINDE no implican garantía por parte de la empresa, en el sentido de que su responsabilidad no puede substituir a la del usuario de este documento.

Región Nordeste:
Baileán, 105 - 08009 BARCELONA
Tel. Call Center: 902 426 462 - Fax: 902 181 078
e-mail: ccenternordeste@es.linde-gas.com

Región Levante:
Camino de Liria s/n, Apdo. de Correos, nº25
46530 PUÇOL (Valencia)
Tel. Call Center: 902 426 463 - Fax: 961 424 143
e-mail: ccenterlevante@es.linde-gas.com

Región Centro:
Ctra. Alcalá - Daganzo, km. 3,8
Pol. Ind. Bañuelos, Hailí, 1
28806 ALCALÁ DE HENARES (Madrid)
Tel. Call Center: 902 426 464 - Fax: 918 776 110
e-mail: ccentercentro@es.linde-gas.com

Región Sur:
Pol. Ind. Ciudad del Transporte,
Real de Vellón, P-27
11591 JEREZ DE LA FRA. (Cádiz)
Tel. Call Center: 902 426 465 - Fax: 956 158 064
e-mail: ccentersur@es.linde-gas.com

Abelló Linde, S.A
www.abellolinde.es

W. Fotografías de la siembra de milpa y cilantro.

La siembra dio inicio el día lunes 25 de junio del 2012 y se llevó registro del crecimiento del cilantro por semana como se puede observar en la Figura No. 65.

Figura No. 65. Inicio de la siembra de cilantro.



Luego de registrar la primera semana se procedió a realizar un registro del crecimiento de las plantas durante cada semana los días lunes que a continuación se muestra por semana el crecimiento que presento cada maceta:

Figura No. 66. Lunes 02 de julio 2012 (Segunda semana).



Figura No. 67. Lunes 09 de julio 2012 (Tercera semana).



Figura No. 68. Lunes 16 de julio 2012 (Cuarta semana).



Figura No. 69. Lunes 23 de julio 2012 (Quinta semana).



Figura No. 70. Lunes 30 de julio 2012 (Sexta semana).



Figura No. 71. Lunes 06 de septiembre 2012 (Séptima semana).

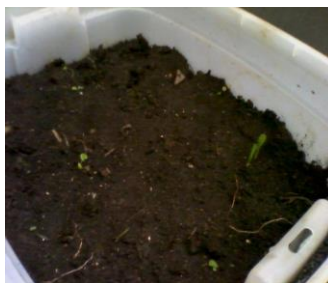


El día de finalización de la siembra fue el lunes 06 de septiembre, día en el cual se procedió a determinar cuanta biomasa (masa total que es capaz un organismo de producir) se produjo en cada muestra, a simple vista se observa que la muestra que contiene el 10% de lodo fue la que obtuvo un mayor crecimiento según las fotografías. Por lo tanto para determinar la biomasa se taró una bolsa plástica de 5.6 gramos en una balanza analítica y se procedió a extraer todo el cilantro de las macetas una por una en la Tabla No. 48 se observa los resultados obtenidos de este experimento.

Al observar los resultados de biomasa se determinó que agregarle un 10% de lodo a la maceta mostro un rendimiento mayor que el control produciendo 26.10 gramos de biomasa.

Gracias al experimento al cultivo de cilantro se procedió a realizar una siembra de milpa en este ya un producto que es mayormente utilizado en Guatemala, la siembra de la milpa dio inicio el día lunes 03 de septiembre del 2012. Para esto se registró la cantidad de plantas en crecimiento, la altura de las mismas y un registró de fotografías para observar el crecimiento. Las milpas se plantaron en unas cajas de plástico y se llevó registró de un control y 5% de lodos. En las ilustraciones a continuación se observa como fue el experimento:

Figura No. 72. Control lunes 10 de septiembre 2012 (Primera semana).



En la Figura No. 72 se observa que solamente dos plantas de milpa de las siete que fueron plantadas. En la segunda semana de la milpa ya se observó un mejor crecimiento de las mismas dos plantas con mucho más hojas en su tallo como se observa en la Figura No. 73.

Figura No. 73. Control lunes 17 de septiembre 2012 (Segunda semana).



En la segunda semana ésta ya presentaba 13 cm de altura, pero solamente dos semillas habían crecido mientras el resto En la Figura No. 74 se observa como han crecido las plantas durante dos semanas presentando una altura de alrededor de 22-24 cm, en esta semana ya se contaba con cinco plantas en crecimiento y no solo dos como en la semana uno.

Figura No. 74. Control lunes 24 de septiembre 2012 (Tercera semana).



Como se mencionaba anteriormente se mostraba cinco plantas en crecimiento, pero en la cuarta semana se presentó la primera muestra de plagas, ya que una de las hojas presentaba mordidas e incluso hasta deficiencia de minerales como se observa en la Figura No. 75.

Figura No. 75. Control lunes 01 de octubre 2012 (Cuarta semana).



En la quinta semana se siguió mostrando la misma deficiencia de minerales en la misma hoja en donde se investigó y se definió que la deficiencia se debía a la falta de fósforo en la tierra. Y una altura de 34 cm.

Figura No. 76. Control lunes 08 de octubre 2012 (Quinta semana).



Así como se llevó un control de esta milpa se plantó la misma cantidad de semillas en la caja que contenía el 5% de lodo de la tierra total agregada como se observa en la Figura No. 77, en esta figura solamente se observa en crecimiento una planta de milpa.

Figura No. 77. 5% de Lodo lunes 10 de septiembre 2012 (Primera semana).



Durante la segunda semana se observó un crecimiento rápido y sorprendente de las plantas ya que de las siete semillas plantadas 5 se encontraban en crecimiento como se observa en la Figura No. 78.

Figura No. 78. 5% de Lodo lunes 17 de septiembre 2012 (Segunda semana).



En la segunda semana ésta ya presentaba un altura de aproximadamente 9 cm mientras que el control presentaba 13 cm, pero solamente dos plantas en crecimiento. En la Figura No. 79 se puede observar como todas las semillas de milpa plantadas se encontraban en crecimiento y aumentando su altura hasta 20 cm aproximadamente.

Figura No. 79. 5% de Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Tercera semana).



Figura No. 80. 5% de Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Cuarta semana).



En esta semana se aprecia de mejor manera como las siete semillas han crecido y han alcanzado una altura de 23 cm, esto se debe a que existen más plantas que absorben los minerales de la tierra y por lo mismo se reparten entre las siete plantas y no ha crecido de igual manera que el control.

Figura No. 81. 5% de Lodo lunes 08 de octubre 2012 (Quinta semana).



Hasta la fecha la milpa con 5% de lodo ha alcanzado 28 cm de altura y no presenta deficiencia de algún mineral. Anexo a esto se sembró una semilla de milpa en las macetas utilizadas para la siembra de cilantro, con el fin de observar que mejora se podría obtener dependiendo de la cantidad de milpa que se planta y ya que esa tierra había sido utilizada anteriormente para otro tipo de cultivo. El día de la siembra se realizó el lunes 10 de septiembre del 2012. En la Figura No. 82 se observa la primera semana del cultivo.

Figura No. 82. Control lunes 17 de septiembre 2012 (Primera semana).



Figura No. 83. 5% Lodo lunes 17 de septiembre 2012 (Primera semana).



Figura No. 84. 10% Lodo lunes de 17 de septiembre 2012 (Primera semana).



Como se observa en la Figura No. 82, Figura No. 83 y la Figura No. 84 se registró 5% de lodo para la primera semana del cultivo de control, y 10 % de lodo en la segunda semana ya se observa un mejor crecimiento, debido a altura que presentaban las plantas como se muestra en la Figura No. 85 y Figura No. 86.

Figura No. 85. Control lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana).



Figura No. 86. 5% Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana).



Figura No. 87. 10% Lodo lunes 24 de septiembre 2012 (Segunda semana)



Para este tiempo el control presentaba una altura de 26 cm, 5% de lodo una altura de 10cm y la de 10% de lodo presentaba una altura de 30 cm, por lo que la maceta con presencia de un 10% de lodo presentaba una mejor eficiencia respecto al crecimiento de la planta de la milpa.

Figura No. 88. Control lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana)



Figura No. 89. 5% Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana)



Figura No. 90. 10% Lodo lunes 01 de octubre 2012 (Tercera semana).



En la Figura No. 88, Figura No. 89 y Figura No. 90 se observa el crecimiento de las mismas durante la tercera semana presentando así una altura para la de control de 28 cm, 5% de lodo una altura de 15 cm y la del 10% de lodo con una altura de 32 cm.

Figura No. 91. Control lunes 08 de octubre 2012 (Cuarta semana).



Figura No. 92. 5% de Lodo lunes 08 de octubre 2012 (Cuarta semana).



Figura No. 93. 10% de Lodo lunes 08 octubre 2012 (Cuarta semana).



En la Figura No. 91, Figura No. 92 y Figura No. 93 se muestra el crecimiento de las mismas tres plantas registrando una altura de 37 cm para el control, 17 cm para el 5% de lodo y 35 para el 10% de lodo. En la Tabla No. 46 y Tabla No. 47 se puede observar un registro de las alturas respecto a la fecha, se puede observar como el lodo ayuda en cierta forma al crecimiento de las plantas pero se ve afectado un poco en la altura debido a la existencia de más plantas por lo tanto más absorción de nutrientes (esto en las cajas plásticas). Mientras tanto en las macetas se observa que el lodo en la etapa inicial da un mayor empuje al crecimiento para lograr tener plantas más altas que el control.

X. Fotografías de la planta "Lo De Coy" tomadas en la evaluación de riesgos y peligros.

Fotografías tomadas durante las visitas para la evaluación de riesgos, peligros y mejora continua

Figura No. 94. Peligro encontrado en el camino.



Figura No. 95. Sulfato de Aluminio.



Figura No. 96. Desorden en cuarto de tolvas.



Figura No. 99. Baranda corroída.



Figura No. 97. Peligro con tanques de gas cloro.



Figura No. 100. Gradas semicultas.



Figura No. 98. Bridas de retención corroídas.



Figura No. 101. Corrosión de barandas.



Figura No. 102. Objetos dejados en el camino.



Figura No. 105. Falta de barandas de seguridad.



Figura No. 103. Corrosión de tuberías.



Figura No. 106. Suelo deteriorado, posible tropiezo.



Figura No. 104. Inclinación peligrosa.



Figura No. 107. Falta de completión de baranda.



Figura No. 108. Retención de tuberías deteriorado.



Figura No. 111. Tubería colgando en el aire.



Figura No. 109. Falta de barandas de seguridad.



Figura No. 112. Tubería en mal estado.



Figura No. 110. Sulfato de Aluminio.



Figura No. 113. Mangueras sobre el suelo.



Figura No. 114. Dosificador de sulfato de aluminio.



Figura No. 117. Instrumento utilizado para mediciones.



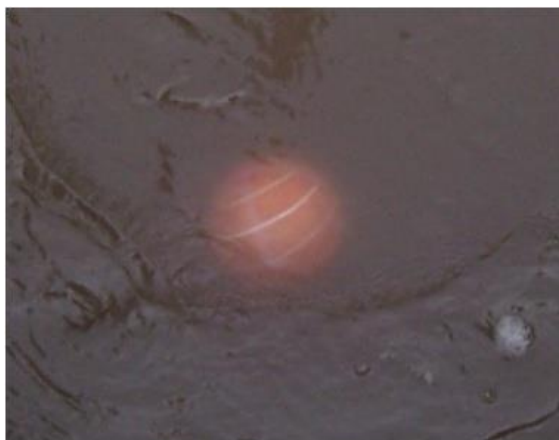
Figura No. 115. Tanques de Gas Cloro.



Figura No. 118. Esquinas de floculación afectados.



Figura No. 116. Pelota de plástico sumergida.



Y. Instrumento A – Evaluación Programa Educativo.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
TALLER DE MEGA PROYECTO 3

FACULTAD DE EDUCACIÓN
SEGUNDO SEMESTRE, 2012

Autoevaluación Final sobre la Unidad

Durante la Unidad realizaste diferentes actividades que buscaban que tú reflexionaras acerca del uso que le das al agua como recurso natural. Relacionaste las formas de aprovechar y conservar los recursos naturales para proveer calidad de vida en Guatemala pero también en América y otros países del mundo. Responde honestamente a cada uno de los siguientes reactivos.

Todos estos datos servirán únicamente para comprobar la eficacia del programa y obtener resultados objetivos.

Instrucciones: Marca con un cheque cada opción que se te muestre. Responde a cada pregunta dentro del cuadro que le corresponde.

1. ¿Cuál es el proceso del ciclo del agua? *

2. ¿Qué tan importante es el agua para tu vida? *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy importante

3. Según las veces que haces uso del agua, escoge un rango de veces según las opciones que se te dan. *

- De 10 en adelante
- De 7 a 9
- De 4 a 6
- De 1 a 3

4. Sobre esa cantidad de veces que utilizas el agua, ¿qué tanto la desperdicias? *

- Poco
- Bastante

Mucho

5. ¿Cuál es el proceso de purificación del agua en las plantas de tratamiento superficial como la que visitaste en "Lo de Coy"? *

6. ¿Conoces sobre? *

	sí	no
El buen uso del agua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El ahorro del agua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El manejo del agua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El mantenimiento del agua para la preservación de todos los seres vivos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La preservación de la vida en nuestro planeta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. ¿Qué nivel de responsabilidad demuestras en el cuidado y mantenimiento en la preservación de la vida en nuestro planeta? *

	Nada responsable	Algo responsable	Responsable	Muy responsable
¿Qué tan responsable te consideras?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. ¿Cuál es la función de EMPAGUA? *

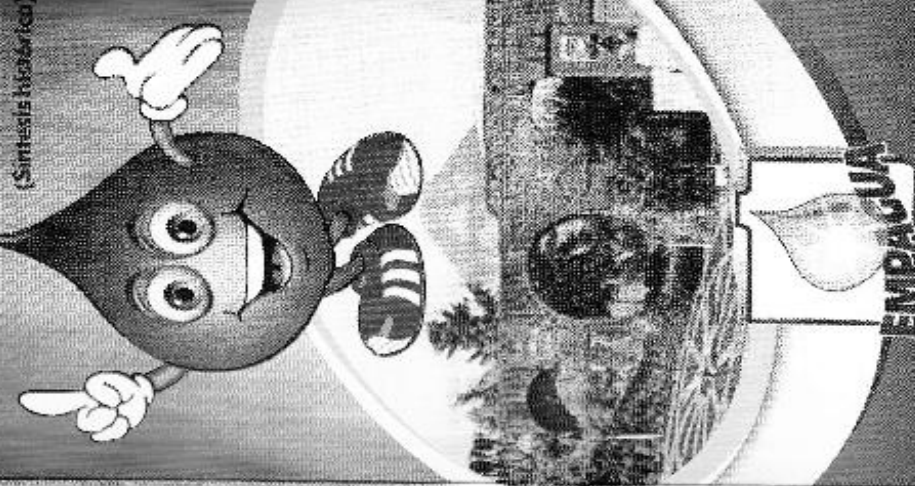
¿Qué te pareció la visita a la planta de EMPAGUA "Lo de Coy" ? *

¿Qué te pareció la discusión en clase sobre la experiencia? *Responde solo si tuviste oportunidad de participar?

Z. Trifoliar EMPAGUA abastecimiento del agua.

Abastecimiento de Agua en la ciudad de Guatemala

(Síntesis Histórica)



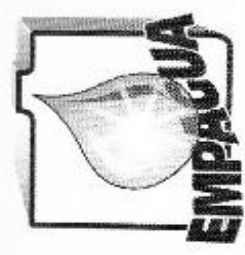
EMPAGUA
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

¿Qué es EMPAGUA?
La Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA), es la encargada de prestar el servicio de agua potable, el mantenimiento y el saneamiento tanto a la ciudad de Guatemala y los áreas adyacentes.

Por el tipo de servicios que esta empresa presta, dispone de personal calificado (ejecutivos, técnicos y operativos) distribuido en sus diferentes oficinas, dependencias, plantas, pozos, etc.

La creación de EMPAGUA
Con la construcción del Acueducto Nacional Xayá-Pixoyá a cargo del gobierno de la República, que introduciría importantes caudales de agua a la ciudad capital, el 20 de abril de 1971, el Concejo Municipal aprobó el convenio entre el gobierno y la Municipalidad de Guatemala, para la administración del mencionado acueducto. Este convenio fue firmado el 21 de mayo de 1971 y aprobado por acuerdo gubernativo de fecha 25 de mayo de 1971. En dicho convenio la Municipalidad de Guatemala acordó crear la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala, EMPAGUA, la cual realizó el 28 de noviembre de 1972.

¡CUIDELA, gota a gota! agua se agota!



Municipalidad de Guatemala,
Centro Cívico Zona 1,
Tercer Nivel, Tel: 2285 8700
Fax: 2232 0601
www.empagua.com - Call Center 1551

En 1941 se creó el Título de Agua Municipal y se ordenó abrir el registro de Aguas Municipales. Se suscribió el antiguo acueducto, con más de 150 años de antigüedad, por tuberías de 12 pulgadas de diámetro y 7,710 metros de longitud.

En 1944 se proyectaron nuevos caudales como El Ojo de Agua, el Embudo Santa Lucía, Sifón y el Rebalse del Teocinte. En 1946 entra en servicio la planta La Brigada.

En el año 1949 se tienen 17 mil servicios y de ellos sólo 7 mil tienen contador (58%); en estas condiciones el clima por la escasez del agua se deteriora y hubo necesidad, por primera vez, de restringir el servicio por varias noches y hasta varias veces durante el día; para el verdadero problema radicaba en que no existía una planificación de un cuerpo técnico municipal para la búsqueda de un abastecimiento fluido para la ciudad de Guatemala.

De 1950 a la fecha, la tecnología ha avanzado en muchos aspectos, por ejemplo, se llegó al 99% de los servicios en la cabecera de medidores; se cambiaron los sistemas de distribución, tuberías de asbesto-cemento por las de hierro galvanizado, este por las de PVC (plástico). Se creó el laboratorio Clínico Bacteriológico para controlar la calidad de agua, función en la Universidad de San Carlos y las propias plantas de purificación. Se emplean ya los elementos químicos necesarios como cloro, sulfato de aluminio, fluor, etc. Se construyeron las primeras plantas de bombeo eléctrico. Se introdujeron nuevos e importantes caudales como Cjo. de Agua, Xayá-Pixoyá, así como pozos de bombeo perforados en distintos puntos de la ciudad. En este período se dio también la creación de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala, Empagua.

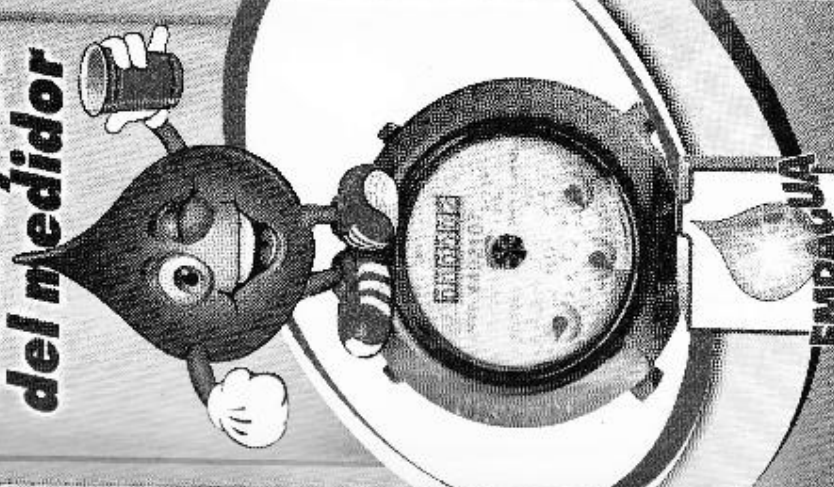
Todas estas obras fueron posibles debido a préstamos otorgados por intermedio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), O-Irama Panamericana de la Salud (OPS), Banco Mundial (BM) y la ayuda tecnológica de Japón y Francia.

En 1992 se crea la tasa municipal por el derecho de servicio de agua potable en un inmueble. El pago de esta tasa da derecho al usuario a que se le preste el servicio en un inmueble específico, sin necesidad de ser propietario de un título.

Este mismo año se acuerda el pago del servicio del agua por medio de tarjetas de consumo.

AA. Trifoliar EMPAGUA detección de fugas.

Cómo detectar fugas con la ayuda del medidor




EMPAGUA
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

MANTENGA EN BUEN ESTADO LAS INSTALACIONES DE AGUA

- Conserve en buen estado las llaves de los sanitarios, los lavamanos, las regaderas, etc., para evitar constantes goteos.
- Cambie las tuberías interiores que se encuentran mal estado. Fíjese con el tiempo se olo y en consecuencia, impidiendo que el agua fluya en su residencia.
- Para evitar rebalses, dele mantenimiento regular a las válvulas del flotador y escape del sanitario.
- Su contador o medidor debe estar libre de basura y demás obstáculos que impidan su lectura.
- No arroje basura ni materiales sólidos de ningún tipo en el inodoro y regaderas, así evitará que se taponen y prevendrá obstrucciones e inundaciones.
- No contamine las fuentes naturales ni los embalses, conserve la naturaleza.

SI ENCUENTRA UNA FUGA DE AGUA POR FAVOR REPORTELA Y ESTARA COLABORANDO EN EVITAR EL DESPERDICIO DEL VITAL LIQUIDO.

¡CUIDELA, gota a gota el agua se agota!




Municipalidad de Guatemala,
Centro Cívico Zona 1,
Tercer Nivel, Tel.: 2285 8700
Fax: 2232 0601
www.empagua.com · Call Center 1551

RECOMENDACIONES PARA HACER USO EFICIENTE DEL AGUA


En el baño:

- Cierre la llave del chorro cuando se afeitó.
- Enjuague limpia su maquillaje con un recipiente con agua. Si lo hace directamente del chorro, estará desperdiciando el líquido vital.
- La capacidad de los dientes con un solo vaso de agua es suficiente.
- Tomar baños cortos y cierre la llave mientras se afeitado, acostumbra a los niños a hacer un buen uso del agua, esto no se puede desaprovechar en juegos.



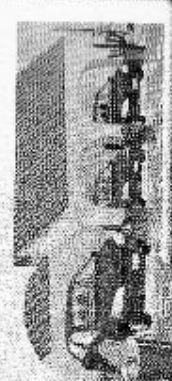
En la cocina:

- No descongela los alimentos con agua, hágalo a temperatura ambiente, sacándolos con tiempo del congelador.
- Lave frutas y verduras en un recipiente con agua.
- Si no succiona para lavar agua en recipientes, asegúrese que estén limpios y tapados para que no se contamine.



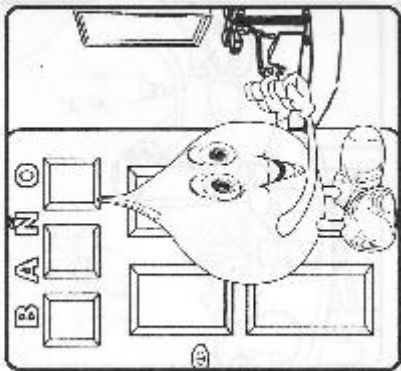
En el aseo:

- Utilice la escoba para aspirar la tierra de su casa, hágalo con agua en un recipiente.
- Cierre la llave del lavaplatos mientras trabaja la lava.
- Para lavar el carro utilice un balde con agua y un cepillo o esponja.
- Reque sus platos y vasos a través de un escurridor, así se ahorrará agua y también evitará que se desperdicie el agua.

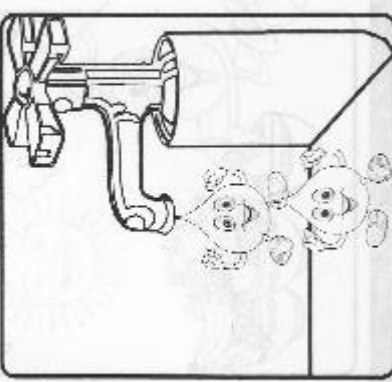


BB. Trifoliar EMPAGUA para niños.

Lávate las manos antes y después de comer y después de ir al baño




No dejes que se DESPERDICIE el agua y recuerda



El AGUA es Vida


CUIDÉMOSLA



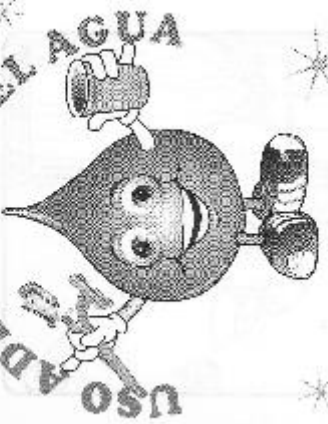
EMPAGUA

Municipalidad de Guatemala, Centro Cívico Zona 1
Tercer Nivel, Tel: 3385 9700 - 3332 0001
www.empagua.com - Call Center 1152

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA



USO ADECUADO DEL AGUA



Gota a gota... el agua se agota

CUIDÉMOSLA

CC. Evidencias Sitio Web AGuate-Protejo.



DD. Listado de temas a desarrollar en el recorrido por la planta de purificación del Agua “Lo de Coy”.

AGUAte-Protejo

Nombre: _____

Lista de Cotejo
**Programa educativo de concientización en el uso del recurso natural del
 agua por La Empresa Municipal de Agua
 - EMPAGUA -**

Indicaciones: Durante la visita se desarrollarán los siguientes temas acorde a tú edad y tus conocimientos.
 Es importante que los leas para conocer lo que aprenderás.
 Marca con un cheque los temas que se desarrollen. Si fuera en caso contrario pide al guía que te informe sobre aquellos que quedaron pendientes.

Recursos/Temas	Sí	No
1) Previo al recorrido durante el traslado en Bus de EMPAGUA:		
Video institucional de EMPAGUA		
Proceso de tratamiento de Agua “Lo de Coy”		
a) Captación - Caja de entrada		
b) Potabilización		
i) Canal de entrada		
ii) Dosificadores		
iii) Floculadores		
iv) Sedimentadores		
v) Filtración - Filtros		
vi) Desinfección		
vii) Exámenes Químico-Bacteriológicos y Químicos utilizados		
c) Distribución		
Consejos sobre el ahorro		
Identificación de fugas		
Efecto multiplicador (que desempeñan al transmitir los conocimientos recibidos al trasladarlos a sus conocidos)		

EE. Glosario.

ÁTOMO: Partícula pequeña que compone la materia.

BACTERIAS: Son microorganismos que causan las enfermedades o provocan que los seres vivos se pudran.

CICLO DE AGUA: Movimiento del agua del suelo al aire y del aire por evaporación, condensación y precipitación.

COMUNIDAD: Conjunto de poblaciones que viven juntas en un área determinada.

CONDENSACIÓN: Cambio del estado gaseoso al líquido.

DEMOGRÁFICO: Se refiere al crecimiento de la población (aumento de personas en un área geográfica).

DEPOSICIÓN: Es el paso del estado gaseoso a sólido.

ECOSISTEMA: Espacio en donde viven los seres vivos interactuando con el entorno; así pueden haber ecosistemas del bosque, de la laguna, del desierto, etc.

ENERGÍA: Capacidad de realizar trabajo.

EROSIÓN: Movimiento del suelo o de las rocas causado por el viento o el agua.

EVAPORACIÓN: Cambio de estado líquido a gas.

FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS: Son los cambios que se producen en la atmósfera de la tierra.

FUSIÓN: Cambio de estado sólido a líquido.

HIDRÓSFERA: Parte líquida del globo terrestre.

HIPÓTESIS: Es una afirmación por comprobarse por medio de estudios e investigaciones.

MATERIA: Cualquier cosa que ocupa espacio y tiene masa.

MINERAL: Sustancia inorgánica (materia no viva).

MOLÉCULA: Unión de átomos: por ejemplo una molécula de agua tiene dos átomos de Hidrógeno y un átomo de Oxígeno. H₂O

MONERA: Organismos muy simples como las bacterias.

OBSERVACIONES CUALITATIVAS: Son aquellas observaciones que se emiten sobre lo que es una persona, una entidad étnica, social, un producto determinado, etc.

OBSERVACIONES CUANTITATIVAS: Son aquellas observaciones que se emiten con base en datos y características que se pueden medir.

PLANTAE: Palabra en latín que se usa para nombrar a la subdivisión del reino de los protistas y que clasifica a las plantas.

POBLACIÓN: Grupo de organismos de una misma especie que habitan en una zona geográfica específica. Ej. Población de ranas, juncos, peces, etc...

PROCESOS CELULARES: Son aquellos que se producen en el interior de las células.

PROCESOS VITALES: Son aquellos que se refieren a la vida propiamente dicha; por ejemplo, nacer y crecer.

PROTEÍNA: La proteína es el principal componente de los músculos, los órganos y las glándulas.

PROTISTA: El reino protista está compuesto por los organismos cuyas células tienen núcleo que no son ni animales ni vegetales.

SOLIDIFICACIÓN: Cambio de estado líquido a sólido.

SEDIMENTACIÓN: Caída de partículas sólidas en el fondo de un recipiente con líquido.

SUBLIMACIÓN: Cambio de estado sólido a gaseoso.

AFLUENTE: El agua captada por un ente generador.

AGUAS RESIDUALES: Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA: La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE: La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

ESTABILIZACIÓN DE LODOS: El proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.

LODOS: Los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.

MUESTRA: La parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

PARÁMETRO: La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.

REÚSO: El aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES: Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de los lodos residuales.

TRANSPORTADOR DE TORNILLO SIN FIN: Encargado de realizar el transporte el transporte de las materias sólidos.

SILO: Tanque de almacenamiento para material sólido o líquido.

RESISTENCIA: Capacidad de un material para resistir una cantidad determinada de peso por centímetro cuadrado.

ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE: Determinar la resistencia a la compresión no confinada “ qu ” (mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica o cubica en donde la resistencia no confinada se toma como la máxima carga alcanzada por unidad de área durante el ensayo

TOLVA: Equipo destinado para el depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados.

CAPACIDAD CALORIFÍCA: Cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera para elevar una unidad de temperatura.

FF.Listado de símbolos y abreviaturas.

kg	Kilogramo	X	Fracción de humedad sobre masa de sólido seco.
m ³	Metros Cúbicos	N	Rapidez de secado.
m ²	Metros Cuadrados	H _L	Humedad relativa
cm ³	Centímetro Cubico	S _s	Masa de sólido seco.
%	Porcentaje	A	Ancho
kJ	Kilo Joules	H	Altura
cm	Centímetros	L	Longitud
g	Gramos	kJ	Kilojoules
ft	Pies	K	Kelvin
Pulg	Pulgadas	°C	Grados Celsius
RPM	Revoluciones por Minuto	h _c	Coeficiente de transferencia
h	Horas	G	Flujo del gas
kW	Kilowatt	BP	Carga de torsión
Nm	Torque	M	Carga del producto
pH	pH	W	Peso de la banda
lb	Libras	F _w	Coeficiente de fricción.
Hp	Caballos de Fuerza	M _p	Carga debida a la acumulación del producto.
m	Metros	ABS	Resistencia nominal de la banda.
min	Minutos	ABSU	Resistencia permitida de la banda.
s	Segundos	CF	Resistencia de la banda.
L	Litros	T	Factor de temperatura.
P	Densidad	S	Factor de resistencia.
Q	Caudal	q	Peso del eje
v	Velocidad	B	Ancho de la banda.
θ	Tiempo de secado	L _s	Largo del eje entre cojinetes
D	Deflexión de la banda.		

E	Módulo de elasticidad	ρ	Densidad
I	Momento de inercia	m	Masa
T_o	Par de torsión	r	Radio
PD	Diámetro de paso del engranaje	DEF	Deflexión
GLP	Gas licuado de petróleo	N	Velocidad en RPM
Θ	Ángulo	V	Volumen
θ	Diámetro	qc	Resistencia
μ	Viscosidad	mm	Milímetros
π	Número pi	% m/m	Porcentaje masa masa.