



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A**

**Sergio Daniel Tení Sierra**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**SERGIO DANIEL TENÍ SIERRA**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chiojay Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN S.A**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha enero de 2011.



**Sergio Daniel Tení Sierra**





FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 07 de mayo de 2012  
REF.EPS.DOC.681.05.12.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

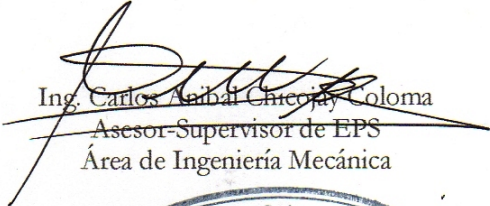
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Sergio Daniel Teni Sierra** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con **carne No. 200516194**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN S.A."**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

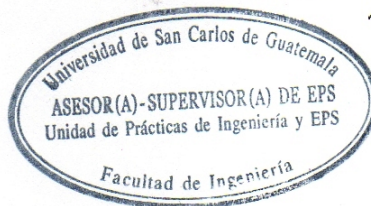
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Carlos Anibal Chicoy Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
CACC/ra





FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 07 de mayo de 2012  
REF.EPS.D.482.05.12

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

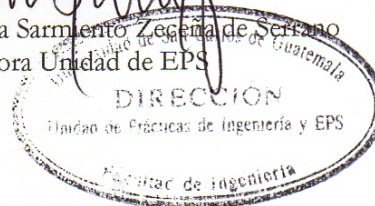
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Sergio Daniel Teni Sierra** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zegarra de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN, S. A., del estudiante Sergio Daniel Tení Sierra, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, noviembre de 2012

JCCP/behdei






DTG. 577.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Daniel Tení Sierra**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno  
Decano a.i.

Guatemala, 13 de noviembre de 2012.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi razón de ser, por su amor infinito y por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida.
- Mis padres** Milton Tení Chén y Arleen Estella Sierra, por su inmenso amor, comprensión y apoyo incondicional en toda mi vida; gracias por educarme; por ustedes soy lo que soy, los amo.
- Mi hermano** Adrian Gerardo, por el amor, apoyo y consejos que siempre me has brindado y por estar siempre para ayudarme.
- Mis sobrinas** Arely Sofía Tení Pérez y Arlin Alicia Tení Pérez, por alegrar mi vida.
- Mis abuelos** Por sus sabios consejos y enseñanzas.
- Mis tíos y tías** Por brindarme su apoyo y cariño. En especial a las familias Castellanos Sierra, Elías Sierra, De Paz Sierra, González Tení, Alvarado Tení.
- Mis primos** Por compartir gratos momentos en el transcurso de mi vida.

**Mis amigos**

Por compartir momentos difíciles, alegres,  
divertidos y por brindarme su confianza.

**Usted**

Respetuosamente

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Ingenio La Unión, S.A.** Por abrimme las puertas para un aprendizaje continuo y por la oportunidad de desarrollame en esta prestigiosa empresa.
- Ing. Carlos René Cifuentes** Por permitime aprender y aplicar conocimientos técnicos para enriquecimiento de mi carrera, muchas gracias.
- Ing. Mario Muñoz** Por brindame su amistad y apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis, muchas gracias.
- Los ingenieros** Luis Enrique Lima, Edwin Gamboa, Yuri Brol, Edgar Ochoa, Alberto Mazariegos, Erick Morales, Sergio Girón, Joel López, Ennio Melgar, Everardo Chan y Ligia Rivas, por su amistad y compartir conmigo sus conocimientos.
- Personal de Generación** Por compartir su amistad, conocimientos y experiencias.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de formación académica que  
busca el desarrollo del país.

**Laboratorio CII**

Por contribuir en el análisis de agua para la  
elaboración de este estudio.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Generalidades del ingenio La Unión, S. A. ....	1
1.1.1. Reseña histórica.....	1
1.1.2. Estructura organizacional .....	4
1.1.3. Ubicación .....	7
1.1.4. Misión, visión y valores .....	8
1.1.5. Política de calidad .....	9
1.1.6. Procesos .....	9
1.1.7. Gestión ambiental .....	10
1.2. Descripción del proceso de generación de energía eléctrica...11	
1.2.1. Combustibles utilizados.....	11
1.2.2. Generación de vapor .....	15
1.2.3. Generación de energía eléctrica .....	17
1.2.4. Subestación eléctrica .....	19
1.2.5. Planta de tratamiento de agua del lavado de gases .....	19

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO-PROFESIONAL .....	21
2.1.	Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales .....	21
2.1.1.	Especificaciones del sistema.....	21
2.1.2.	Descripción del proceso .....	21
2.1.3.	Operación normal .....	24
2.1.3.1.	Procedimiento previo a la puesta en marcha.....	24
2.1.3.2.	Puesta en marcha .....	25
2.1.3.3.	Detención y paro .....	26
2.1.4.	Rutinas de operación .....	27
2.1.4.1.	Nivel de operación de los decantadores .....	27
2.1.4.2.	Alimentación de los decantadores .....	28
2.1.4.3.	Flujo de agua tratada a las calderas .....	28
2.1.4.4.	Flujo de agua sucia a los decantadores .....	28
2.1.4.5.	Flujo y nivel de lodo en los decantadores .....	29
2.1.4.6.	Adición de polímero floculante general .....	31
2.1.4.7.	Flujo de lodo .....	35
2.1.4.8.	Remoción de sólidos .....	35
2.1.4.9.	Nivel de lodo en los decantadores .....	35
2.1.4.10.	Calidad del agua tratada .....	35
2.1.4.11.	Calidad de la floculación .....	36
2.1.4.12.	Evaluación de la concentración del lodo .....	36

	2.1.4.13.	Verificar la alimentación a los camiones .....	37
2.2.		Descripción del equipo utilizado en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales .....	37
	2.2.1.	Lavadores de gases .....	37
	2.2.2.	Conductores para lodos .....	40
	2.2.3.	Tanque de agua sucia .....	42
	2.2.4.	Tolva para lodos.....	43
	2.2.5.	Bomba para agua sucia .....	44
	2.2.6.	Decantadores de lodos .....	46
	2.2.6.1.	Decantación .....	48
	2.2.7.	Tanque para polímero floculante .....	48
	2.2.7.1.	Floculación .....	50
	2.2.7.2.	Floculante .....	50
	2.2.8.	Bombas para polímero floculante .....	51
	2.2.9.	Vertederos .....	53
	2.2.10.	Tanque para agua limpia .....	53
	2.2.11.	Bombas para agua limpia .....	54
	2.2.12.	Válvulas para lodos .....	55
	2.2.13.	Válvulas para agua de desbloqueo .....	56
	2.2.14.	Filtro rotativo para lodos .....	57
	2.2.15.	Prensa hidráulica para lodos .....	62
2.3.		Acciones de mantenimiento en época de reparación y zafra ..	63
	2.3.1.	Equipos con mayor criticidad de un paro en operación .....	63
	2.3.2.	Problemas operacionales y acciones correctivas ..	64
	2.3.2.1.	Deficiente clarificación del agua .....	64
	2.3.2.2.	Acumulación de sólidos en los decantadores .....	65

	2.3.2.3.	Atascamiento de las válvulas de fondo de los decantadores .....	65
	2.3.3.	Actividades de mantenimiento preventivo actual en época de zafra .....	66
	2.3.4.	Actividades de mantenimiento preventivo actual en época de reparación (no zafra) .....	67
	2.3.5.	Actividades de mantenimiento correctivo actual .....	68
2.4.		Análisis de eficiencia del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases .....	69
	2.4.1.	Eficiencia del sistema .....	69
2.5.		Impacto y beneficios ambientales .....	76
	2.5.1.	Análisis de lodos .....	76
	2.5.2.	Calidad de aire en la industria azucarera .....	76
	2.5.3.	Consumo de agua .....	77
	2.5.4.	Agua de reposición .....	78
	2.5.5.	Beneficios obtenidos .....	80
3.		FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE .....	81
	3.1.	Análisis de riesgos en ingenio La Unión, S. A. ....	81
	3.1.1.	Definición de riesgo .....	81
	3.1.2.	Tipos de riesgo en el área del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases .....	82
	3.1.2.1.	Riesgos físicos .....	82
	3.1.2.2.	Riesgos químicos .....	82
	3.1.2.3.	Riesgos biológicos .....	83
	3.1.2.4.	Riesgos eléctricos .....	83
	3.1.2.5.	Análisis de riesgos .....	83
	3.1.2.6.	Condiciones inseguras observadas ....	84
	3.1.2.7.	Actos inseguros .....	85

3.1.3.	Nomas y medidas de seguridad .....	86
3.1.3.1.	De ingreso y locomoción .....	86
3.1.3.2.	En el lugar de trabajo .....	87
3.1.3.3.	Ayudar a prevenir accidentes .....	87
3.1.3.4.	En caso de emergencia .....	88
3.1.3.5.	Sanciones .....	90
3.1.4.	Equipo de protección personal .....	90
4.	PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL LAVADO DE GASES .....	93
4.1.	Mejoras a la operación .....	93
4.1.1.	Tanque de lodos decantados de mayor tamaño .....	93
4.1.2.	Traslado del sistema hidráulico de la válvula de la tolva .....	95
4.1.3.	Modificación a la tolva .....	97
4.1.4.	Cambio de la tela filtrante del conductor 1 .....	98
4.1.5.	Instalación de un semáforo indicador .....	99
4.1.6.	Traslado de prensa hidráulica para lodos .....	100
4.1.7.	Sustitución de la transmisión de las bombas para lodos decantados .....	101
4.1.8.	Propuesta de protectores de chumaceras de los rodos de soporte del filtro rotativo .....	102
4.2.	Mejoras al mantenimiento .....	104
4.2.1.	Aplicación de resina antiabrasiva a las medallas de las válvulas de fondo de los decantadores .....	104
4.2.2.	Rutina de inspección del equipo .....	106
4.2.3.	Nuevo recorrido para la rutina de inspección .....	109
4.3.	Mejoras para mitigar el riesgo .....	110

CONCLUSIONES..... 113  
RECOMENDACIONES..... 115  
BIBLIOGRAFÍA ..... 117  
ANEXOS ..... 119

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Estructura organizacional del área de fábrica .....	5
2.	Estructura organizacional del proceso de generación de energía .....	6
3.	Ubicación geográfica del ingenio La Unión, S.A. ....	7
4.	Mapa de la carretera que conduce de la ciudad capital hacia el ingenio La Unión.....	8
5.	Operación del sistema de tratamiento de agua para lavado de gases .....	23
6.	Preparación del polímero floculante .....	33
7.	Diagrama del lavador de gases de la combustión en calderas .....	39
8.	Conductor para lodos No. 1 .....	42
9.	Tanque de agua sucia .....	43
10.	Tolva para lodos .....	44
11.	Bomba centrífuga Imbil .....	45
12.	Impulsor .....	45
13.	Decantadores del ingenio .....	47
14.	Partes principales de un decantador de lodos .....	47
15.	Tanques para preparación del polímero floculante .....	50
16.	Bombas dosificadoras del polímero floculante .....	52
17.	Vertedero de un decantador de lodos .....	53
18.	Tanque para agua tratada .....	54
19.	Bombas para agua limpia .....	55
20.	Válvula tipo mariposa para el fondo de los decantadores .....	56
21.	Válvula de tipo bola .....	57

22.	Plano del filtro rotativo para lodos .....	61
23.	Filtro rotativo para lodos .....	62
24.	Prensa hidráulica para lodos .....	63
25.	Toma de muestra en la línea de entrada del STARI .....	70
26.	Toma de muestra en vertedero de decantador .....	70
27.	Toma de muestra en la salida del filtro rotativo .....	71
28.	Molinete tipo taza .....	78
29.	Áreas de riesgo del STARI .....	85
30.	Uniforme obligatorio en la planta industrial .....	91
31.	Tanque de lodos decantados .....	94
32.	Antigua instalación del sistema hidráulico de la válvula de la tolva .....	96
33.	Sistema hidráulico de la válvula de la tolva .....	96
34.	Tolva modificada .....	97
35.	Tela filtrante del conductor 1 .....	98
36.	Tela filtrante propuesta .....	99
37.	Semáforo propuesto .....	100
38.	Bombas de lodos decantados .....	101
39.	Vista en planta del protector de chumaceras .....	102
40.	Vista lateral del protector de chumaceras .....	103
41.	Vista isométrica del protector de chumaceras lado posterior .....	103
42.	Vista isométrica del protector de chumaceras lado frontal .....	104
43.	Medallas protegidas con resina anti abrasiva .....	105
44.	Nuevo formato de rutina de inspección del equipo .....	106
45.	Vista en planta del STARI .....	107
46.	Vista lateral del STARI .....	108
47.	Propuesta de señales de riesgo industrial .....	111



## TABLAS

I.	Composición física de la caña de azúcar .....	12
II.	Composición química del bagazo .....	12
III.	Composición física promedio del bagazo de caña .....	13
IV.	Componentes de la fibra de la caña de azúcar .....	13
V.	Propiedades del bunker C .....	14
VI.	Características principales de las calderas acuotubulares del ingenio La Unión .....	16
VII.	Características principales de los turbogeneradores del ingenio .....	18
VIII.	Propiedades físicas y químicas del floculante Superfloc C-492 HMW .....	51
IX.	Resultados de la entrada del flujo de lodos al STARI .....	71
X.	Resultados de la descarga en el vertedero del decantador .....	72
XI.	Resumen para el cálculo de la eficiencia del STARI .....	73
XII.	Resultados de la descarga de fondo del decantador .....	74
XIII.	Resultados de la salida del filtro rotativo .....	74
XIV.	Resumen para el cálculo de la eficiencia del filtro rotativo .....	75
XV.	Composición química de las cenizas del bagazo de caña .....	76
XVI.	Riesgos identificados en el STARI .....	84



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<i>h</i>	Altura
<b>S</b>	Azufre
<b>C</b>	Carbono
$\phi$	Diámetro de un círculo
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Dióxido de silicio
<i>e</i>	Eficiencia
$\bar{e}$	Eficiencia promedio
<b>gpm</b>	Galones por minuto
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>g/L</b>	Gramos por litro
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno
<b>Hp</b>	Horse power (caballos de potencia)
<b>dB</b>	Intensidad del sonido (decibeles)
<b>kcal/kg</b>	Kilocaloría por kilogramo
<b>kcal/L</b>	Kilocaloría por litro
<b>kg/kg</b>	Kilogramo de aire sobre kilogramo de combustible
<b>kW</b>	Kilovatios
<b>lb/h</b>	Libras por hora
<b>psig</b>	Libras por pulgada cuadrada (medida de presión manométrica)
<b>MW</b>	Megawatts
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metros cúbicos por hora

<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Micrómetros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mmca</b>	Milímetros de columna de agua
<b><math>\text{N}_2</math></b>	Nitrógeno
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	Óxido de aluminio
<b>CaO</b>	Óxido de calcio
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	Óxido de hierro
<b>MgO</b>	Óxido de magnesio
<b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>	Óxido de potasio
<b><math>\text{O}_2</math></b>	Oxígeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b><math>\pi</math></b>	Pi, equivalente a 3.1416
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>SSF</b>	Segundos Saybolt Furol
<b><math>\text{Na}_2</math></b>	Sodio
<b><math>\Sigma</math></b>	Sumatoria
<b>UTN</b>	Unidad Nefelométrica de turbidez

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.
<b>A-36</b>	Acero inoxidable.
<b>AISI 304L</b>	Acero inoxidable de bajo carbono.
<b>AISI-SAE</b>	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero) – Society of Automotive Engineers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores), es una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.
<b>API</b>	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petroleo), norma relacionada con los lubricantes.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials (Asociación Americana de Pruebas de Materiales); normas que definen los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.
<b>Bagazo</b>	Material sólido y fibroso, residuo de la molienda de la caña de azúcar, el cual se utiliza como combustible en las calderas.

<b>Brix</b>	Unidad de medida de sacarosa disuelta en el jugo de caña.
<b>BTU</b>	<i>British Thermal Unit</i> , unidad térmica británica.
<b>Calderas acuotubulares</b>	Instalaciones industriales que generan vapor para distintas aplicaciones en la industria.
<b>Catión</b>	Molécula o grupo de moléculas con carga positiva.
<b>Conductor</b>	Mecanismo compuesto de tablillas y cadenas o de fajas que arrastran la ceniza o bagazo.
<b>cSt</b>	centiStokes
<b>Dosificación</b>	Regulación de la cantidad de algún material a utilizar.
<b>Floculación</b>	Proceso de aglomeración de las partículas coaguladas para formar flóculos sedimentables, por lo general, de naturaleza gelatinosa.
<b>HMW</b>	<i>High Molecular Weight</i> , alto peso molecular.
<b>Inquemados</b>	Material que no se logró quemar en el hogar de la caldera.
<b>ISO VG 68</b>	Aceite hidráulico antidesgaste.

<b><i>Make up</i></b>	Agua de reposición, para equilibrar la demanda del STARI.
<b><i>Scrubber</i></b>	Lavador de gases por medio de la aplicación de agua.
<b>SNH</b>	Cajas para alojamiento de rodamientos.
<b>Sólidos totales</b>	Es la suma de los sólidos sedimentables, en suspensión y disueltos.
<b>STARI</b>	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.
<b>Tándem</b>	Conjunto de molinos, cada uno con cuatro masas metálicas que mediante presión extraen el jugo de la caña.
<b>Turbidez</b>	Parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua.
<b>Turbogenerador</b>	Máquina compleja que transforma la energía calórica del vapor en energía eléctrica.
<b>Zafra</b>	Tiempo de cosecha de la caña de azúcar, además del procedimiento de la misma para la producción del azúcar.





## RESUMEN

En la actualidad, la conservación del medio ambiente ha tomado un valor importante en la industria mundial, que va desde el reciclaje de recursos naturales hasta el manejo adecuado de los desechos de un proceso.

En la industria azucarera se aprovecha el residuo de la molienda de la caña de azúcar y este desecho, el bagazo, se utiliza como combustible en las calderas para generar vapor y luego transformar en un turbogenerador, la energía en forma de calor, en energía eléctrica.

Las calderas luego de quemar el bagazo, emiten gases contaminantes que perjudican al ser humano, por lo tanto, ingenio La Unión implementó un sistema para lavado de gases de la combustión que captura partículas sólidas como ceniza y bagazo mal quemado. También implementó un sistema para recuperar el agua utilizada en el lavador de gases, que separa los sólidos contenidos en ella.

En operación normal o zafra, el equipo que compone el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales ha sufrido averías que conllevan a paros imprevistos. En este estudio se analizaron las condiciones actuales del equipo, se diagnosticó el equipo con mayor riesgo de fallar y se determinó un listado de repuestos críticos que se recomienda almacenar en bodega, para disminuir el tiempo del mantenimiento correctivo.

Adicionalmente, se detallan propuestas de mejoras al sistema, con el objetivo de mantener la operación continua, menor tiempo perdido, seguridad del operador y la preservación del ambiente.

# OBJETIVOS

## General

Proponer mejoras a la operación, mantenimiento y control de la maquinaria y equipo involucrado en el sistema de tratamiento de agua del lavado de los gases de combustión de las calderas.

## Específicos

1. Actualizar la documentación concerniente al sistema de tratamiento de agua del lavado de gases de las calderas.
2. Definir un *stock* mínimo de repuestos según la criticidad de los equipos para evitar demoras prolongadas durante la operación.
3. Desarrollar formatos para el monitoreo de condición de todo el equipo de la planta de tratamiento de agua.
4. Identificar los diferentes tipos de riesgo en el área del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases, considerando, las instalaciones de la maquinaria, las posibles rutas de evacuación y el equipo de protección personal.
5. Identificar los problemas más comunes en la maquinaria y equipo del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases.

6. Analizar el estado actual de la maquinaria y equipo del sistema, para determinar la eficiencia del mismo.

## INTRODUCCIÓN

Ingenio La Unión S.A., cuenta con un sistema de tratamiento del agua que se utiliza en el lavado de los gases de la combustión de las calderas; el objetivo del sistema es separar los sólidos contenidos en esta agua para reutilizarla en los lavadores de gases.

Durante la zafra 2010-2011 se observó la operación de este sistema y se determinaron varios aspectos por mejorar como las instalaciones y equipos que lo conforman.

Inicialmente se mencionan algunas generalidades del ingenio, como una breve reseña histórica, las políticas de la empresa. También se describe el proceso de generación de energía eléctrica, desde los combustibles hasta el objetivo de este estudio: el sistema de tratamiento de agua del lavado de gases.

En la segunda parte se describe el proceso de la planta, en operación normal, las rutinas de operación, las características principales de los equipos, las acciones de mantenimiento en época de zafra y reparación, los equipos con mayor riesgo de fallar; también se presenta el cálculo de la eficiencia del sistema, así también los beneficios obtenidos al alcanzar una operación estable y continua.

Posteriormente, se describe un análisis de riesgo a las instalaciones del sistema de tratamiento de agua, donde se identificaron condiciones inseguras y algunas acciones de riesgo por parte de los operarios; también se mencionan las normas y reglas sobre la seguridad industrial del ingenio.

Por último, se detallan las propuestas de mejora al sistema en cuanto a la operación y mantenimiento de los equipos, así también para reducir el riesgo en la planta.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Generalidades del ingenio La Unión, S.A.**

A continuación se mencionan algunas generalidades del ingenio, como por ejemplo, una breve historia de sus inicios en la industria azucarera, así también, las políticas establecidas como la misión y visión, estructura organizacional y la ubicación geográfica.

### **1.1.1. Reseña histórica**

La historia de los ingenios La Unión y Los Tarros comienza en 1950; José García, un comerciante de abarrotes, emprendió una empresa que le llevaría a forjar una gran industria de Guatemala, pasaría de vender dulces y abarrotes a cultivar caña y a transformarla en miel, panela y azúcar. Adquirió la finca Los Tarros, que presentaba grandes oportunidades para él, pero también grandes retos, pues el ingenio requería mucha inversión de tiempo, dedicación y dinero; prácticamente no tenía más que un trapiche.

Cuando don José y doña Ana María Cottone de García adquirieron de la sociedad Aparicio Hermanos, la finca Los Tarros y sus anexos: la producción anual en los inmuebles adquiridos fue de 300 quintales de café pergamino, 2000 toneladas de caña y 300 cargas de panela, además de unos 300 novillos. Don José García trabajó afanosamente desde el inicio. La finca Los Tarros empezó a crecer en productividad y desde el inicio de sus operaciones, se incrementaron las cargas de panela, los quintales de café pergamino y el ganado de engorde.

Se tuvo un buen desarrollo tanto en café como en la caña de azúcar, produciendo panela y mieles vírgenes.

En 1959, la caña de azúcar utilizada para producir panela empezó a ser transformada en mieles vírgenes, que eran vendidas a la destilería de Santa Lucía Cotzumalguapa. Luego, esta añejadora suspendió las compras de miel y entonces en Los Tarros se tomó la decisión de producir exclusivamente azúcar.

Con ese propósito, durante el Gobierno de Miguel Ydígoras Fuentes, fue comprada al Estado la maquinaria de la Finca Nacional, llamada Cecilia, situada en San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez. Se transportaba la caña en tres camiones, cada uno con cinco toneladas por viaje. Otra parte la transportaban veinte carretas de madera, haladas por bueyes, hacia los lugares cercanos al ingenio.

Los Tarros era un ingenio que tenía pequeños molinos de 36 pulgadas de largo, cuya capacidad de molienda diaria oscilaba entre 400 y 600 toneladas. Sin embargo, la operación del ingenio empezó a crecer. Se adquirió un molino más, lo que permitió aumentar la molienda a 1 800 toneladas de caña diarias.

Entre 1950 y 1967, don José fue el principal responsable de la empresa, sin embargo, sus hijos Similiano y Lucrecia estaban a punto de recibir el legado de su padre. El hijo mayor de don José y doña Anny de García, Similiano García se integró a partir de 1950, como un trabajador más de Los Tarros. Él se pasaba meses enteros en el ingenio y las fincas; de esa forma llegó a conocer todos los pormenores del negocio y a los compañeros de trabajo en todas las fases del proceso, desde el cultivo de la caña hasta la fabricación de azúcar.



Dado que en terrenos aledaños al ingenio Los Tarros, no existían tierras para continuar ampliando este ingenio, a finales de los años sesenta se adquirieron fincas en zonas bajas de Santa Lucía Cotzumalguapa, en donde se vislumbraba mayor potencial de crecimiento. Aquí se decidió fundar una nueva planta de producción de azúcar, a la que se llamó Ingenio La Unión.

El ingenio La Unión comenzó operaciones el 20 de enero de 1970 en la finca Belén, situada en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla y en su primera zafra produjo 160 mil quintales de azúcar.

Luego se inició el proyecto de ampliación, para lo que se necesitó más maquinaria. La mayor parte de los equipos se compraron en Puerto Rico. La primera etapa del proyecto consistía en llevar al ingenio a moler 2 000 toneladas de caña/día, y en una segunda etapa llevarlo a 6 000 toneladas de caña/día. Al inicio de los años noventa, el ingenio ya molía 7 000 toneladas de caña/día. Posteriormente, se logró llegar a moler 12 500 toneladas de caña/día.

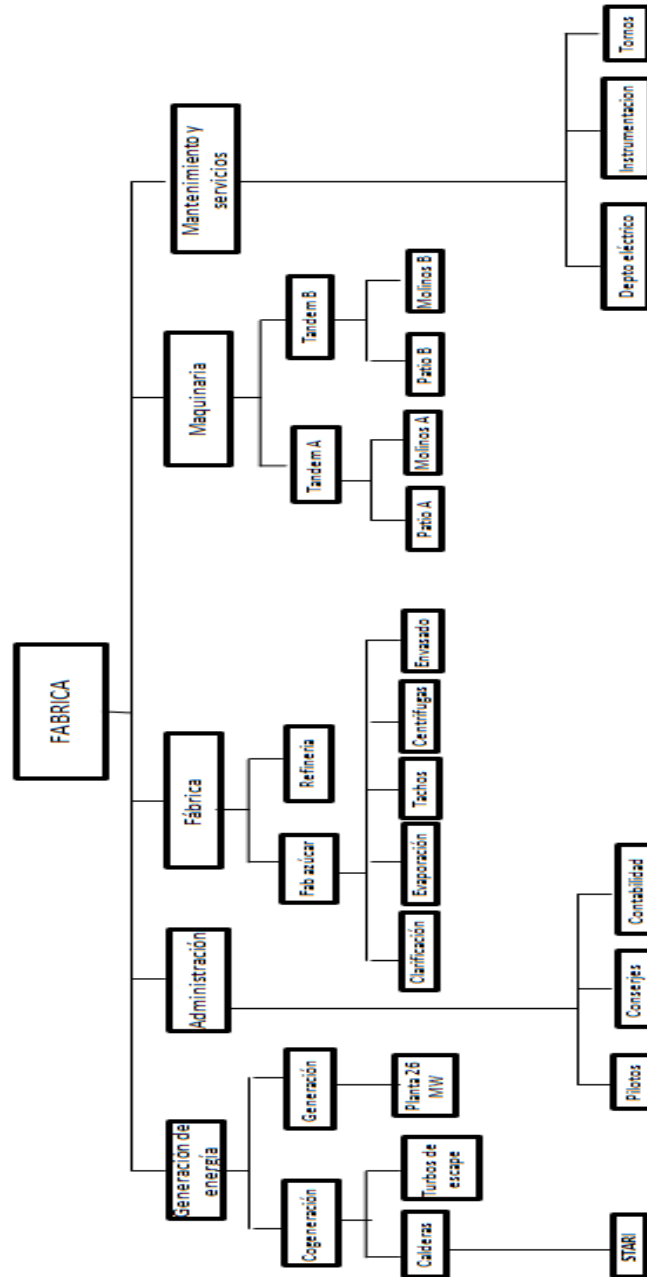
A comienzos de los años 90, cuando existía un déficit en la producción de energía eléctrica en el país y acababa de promulgarse una ley que permitía a empresas privadas participar en la generación de electricidad, se firmó un contrato con la empresa eléctrica de Guatemala para la venta de energía eléctrica y se empezó de esta forma a cogenerar, usando como combustible el bagazo de la caña de azúcar. Para lograr cumplir con este contrato se tuvo que hacer grandes inversiones en calderas de más alta presión, turbogeneradores de mayor potencia y se hicieron cambios significativos en los equipos del proceso industrial, para ahorrar energía y lograr la venta contratada. Entre los cambios realizados, cabe destacar que este ingenio fue el primero en Guatemala en usar motores eléctricos de corriente alterna como fuerza motriz para todos los molinos.

Actualmente, se genera energía eléctrica tanto para ser autosuficiente en el proceso industrial, como para vender al mercado eléctrico nacional cerca de 30 MW y se muelen 18 000 Ton/día, con dos tándem de molinos.

### **1.1.2. Estructura organizacional**

El área de fábrica está compuesta por los departamentos de Administración, Fábrica, Maquinaria, Mantenimiento y Servicios y Generación de Energía Eléctrica, que en este departamento está el objeto de estudio del presente trabajo. En la figura 1 se muestra la estructura organizacional del área de fábrica.

Figura 1. Estructura organizacional del área de fábrica



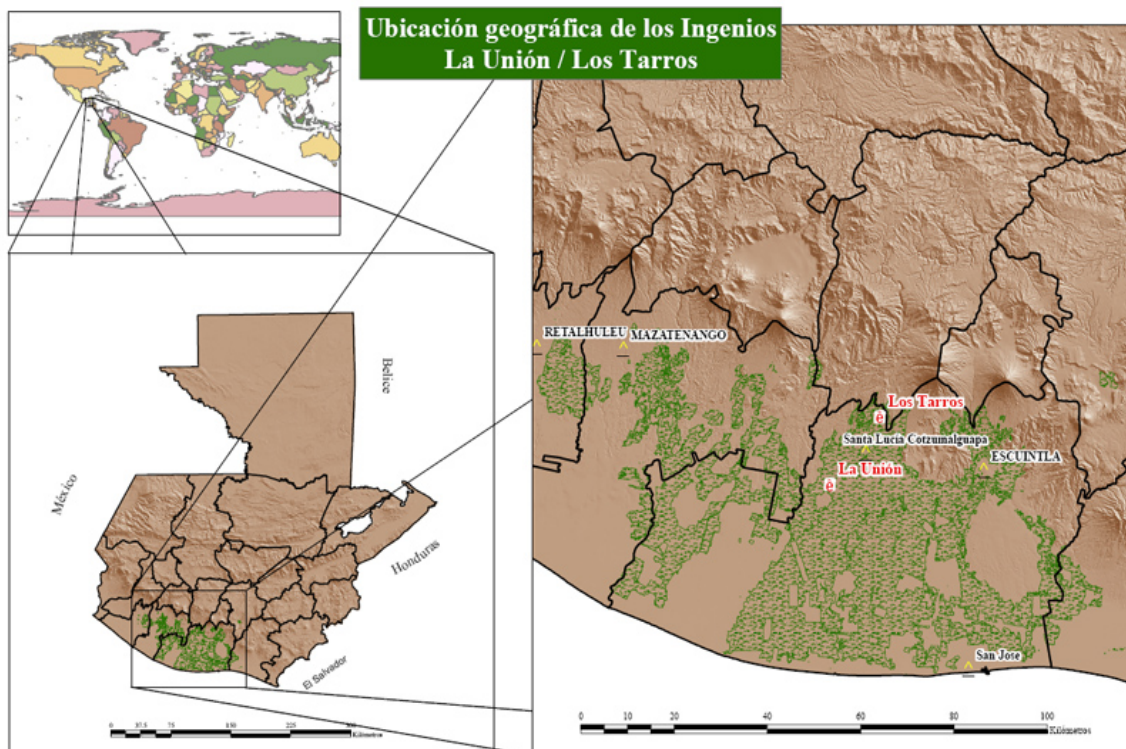
Fuente: elaboración propia. Información proporcionada en ingenio La Unión, S.A.



### 1.1.3. Ubicación

La planta está localizada en: Finca Belén en el kilómetro 101,5 carretera hacia Cerro Colorado, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.

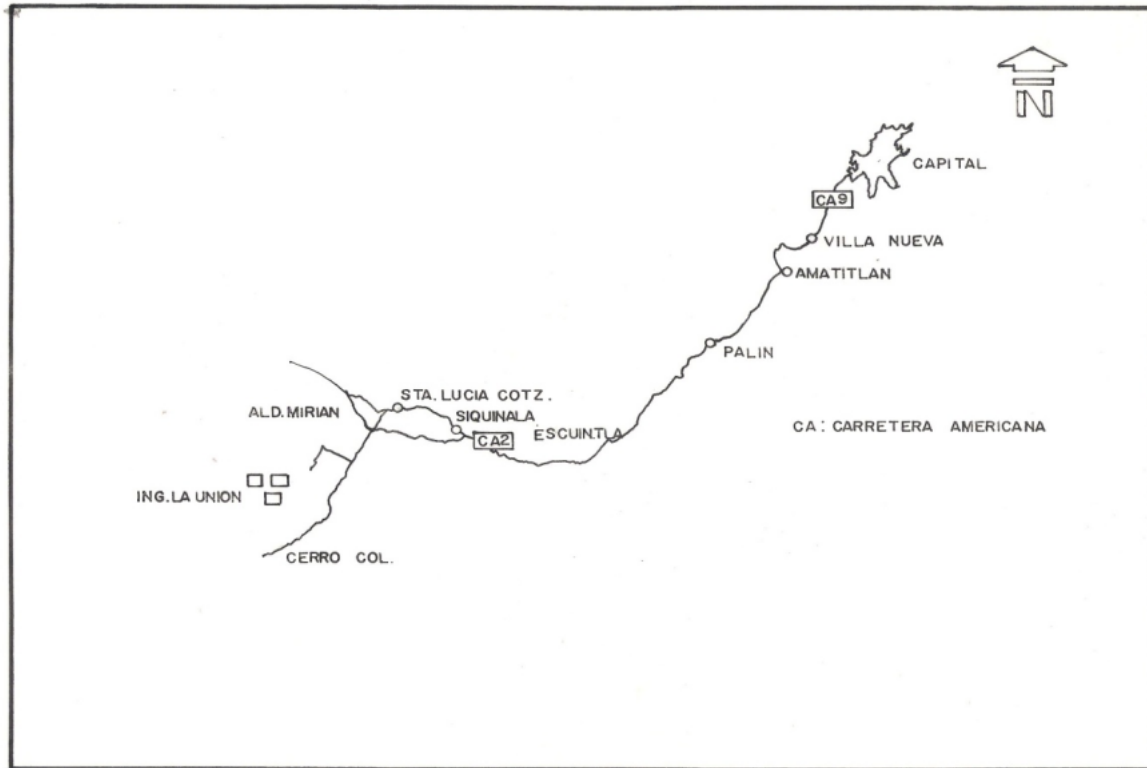
Figura 3. Ubicación geográfica del ingenio La Unión



Datum horizontal WGS84 - Fuente mapas base: Mapa de Cobertura del Suelo y Uso de la Tierra, escala 1:50,000; Modelo de Elevación Digital de la República de Guatemala, escala 1:50,000. MAGA-UPGR. 2006.

Fuente: ingenio La Unión, S. A.

Figura 4. **Mapa de la carretera que conduce de la ciudad capital hacia el ingenio la Unión**



Fuente: ingenio La Unión, S.A. Documentos varios.

#### **1.1.4. Misión, visión y valores**

La misión de la empresa es la siguiente:

“Somos una corporación agroindustrial, comprometida a mantener niveles de rentabilidad adecuados y sostenidos contribuyendo a fortalecer las inversiones estratégicas necesarias, que aumenten la capacidad competitiva de la corporación en el mercado global del azúcar y eléctrico, y le permita ser instrumento de superación para todos los integrantes de la organización”.

La visión de la empresa se centra en:

“Ser líderes en caña, azúcar y electricidad trabajando en unión”.

Algunos de los valores que se practican en la empresa son:

- Responsabilidad
- Honestidad
- Lealtad
- Orgullo de pertenencia
- Responsabilidad social

#### **1.1.5. Política de calidad**

En su política de calidad, la empresa reafirma lo siguiente: “Producimos y comercializamos caña, azúcar y electricidad, para satisfacer requerimientos de calidad de nuestros clientes, a través de la mejora continua de los procesos y el desarrollo de nuestro personal. Estamos comprometidos con la productividad y rentabilidad de la empresa, para ser competitivos en los mercados. Mantenemos una conducta ética coherente con la legislación de nuestro país”.

#### **1.1.6. Procesos**

El azúcar se produce en el campo, se extrae y cristaliza en la fábrica, a través de procesos que involucran diferentes disciplinas profesionales.

Las operaciones se desarrollan por medio de tres procesos operativos principales:

- **Proceso agrícola:** comprende la preparación de la tierra y siembra de la caña hasta la entrega de la misma en la fábrica. Para lograr cubrir este proceso es necesario realizar labores tales como: preparación de suelos, siembra, fertilización, riego, control de malezas, control de plagas, aplicación de madurantes, corte, alce y transporte de la caña.
- **Proceso industrial:** empieza por la recepción de la caña, continúa con la preparación de la misma, siguiendo con la extracción de jugos, su tratamiento, evaporación, cristalización, centrifugado, secado, empaque y almacenaje.
- **Proceso comercial:** inicia con la negociación de contratos con los clientes, comprende también la recepción y el almacenaje del azúcar en las bodegas y el transporte y traslado hacia los centros de distribución y consumo.

Los procesos principales son apoyados por otros procesos que incluyen: Recursos Humanos, Administración y Finanzas, Gestión de la Calidad y un área de Proyectos Nuevos.

### **1.1.7. Gestión ambiental**

La empresa se caracteriza por la aplicación de técnicas que ayudan a la conservación del medio ambiente, bajo un Sistema de Gestión Ambiental. Sus actividades han sido:



- Manejo del agua: implementando equipos para monitorear constantemente los afluentes y recircular las aguas industriales.
- Emisiones a la atmósfera: instalación de filtros húmedos antes de las chimeneas de las calderas para minimizar la emisión de contaminantes.
- Manejo de desechos industriales: la cachaza y las cenizas de las calderas se trasladan al campo para utilizarse como abonos de los suelos agrícolas.

## **1.2. Descripción del proceso de generación de energía eléctrica**

En esta sección se describe el proceso de generación de energía eléctrica, comenzando por los combustibles utilizados en las calderas, como el bagazo de la caña de azúcar y el bunker. Seguidamente, se explica la generación del vapor en las calderas que posteriormente los turbogeneradores transforman la energía térmica del vapor en energía mecánica que gira el rotor de la turbina, así también, el rotor del generador eléctrico, que mediante un fenómeno electromagnético produce la energía eléctrica.

### **1.2.1. Combustibles utilizados**

El bagazo se separa después de su paso por el último molino del tándem de molienda de caña, después de la extracción del jugo, su poder calorífico promedio teórico sería de 8 350 BTU/libra de bagazo.

En la realidad, el bagazo contiene entre un 48%-52% de humedad y un 15% de ceniza o arena, el valor calorífico del bagazo húmedo es de 3 357 BTU/libra. La tabla I señala los elementos que componen la caña de azúcar.

Tabla I. **Composición física de la caña de azúcar**

Fibra	12%
Brix	18%
Humedad	70%

Fuente: ARREAZA, Jaenz. Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña. p. 27.

La fibra del bagazo ha sido analizada por diversos investigadores y se han obtenido porcentajes promedio de sus componentes. Hugot (1963) tabula los resultados de siete de dichos análisis que indican las variaciones; la composición química del bagazo se presenta en la tabla II.

Tabla II. **Composición química del bagazo**

Carbono	47%
Oxígeno	44%
Hidrógeno	6,5%
Ceniza y otros materiales	2,5%

Fuente: CHEN, James. Manual del azúcar de caña. p.138.

La composición física promedio del bagazo de caña se presenta en la tabla III.

Tabla III. **Composición física promedio del bagazo de caña**

Humedad	50%
Fibra	46%
Brix (sólidos solubles en el agua)	2%
Impurezas minerales	2%

Fuente: ARREAZA, Jaenz. Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña. p. 26.

La tabla IV muestra los componentes de la fibra o la materia seca e insoluble en agua contenida en la caña de azúcar.

Tabla IV. **Componentes de la fibra de la caña de azúcar**

Celulosa	48%
Hemicelulosa	40%
Lignina	12%

Fuente: ARREAZA, Jaenz. Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña. p. 27.

El bagazo es transportado por conductores y se utiliza como combustible para las calderas, el ingenio actualmente cuenta con 19 conductores que son de dos tipos: de cadena de arrastre con tablillas y de banda.

Los conductores de tablillas conducen el bagazo hasta los alimentadores de bagazo de las calderas; el sobrante de estos se transporta hacia un lugar conocido como bagacera, donde se almacena, dependiendo de la demanda de carga, se recircula nuevamente hacia los alimentadores.

En una de las calderas del ingenio existe la posibilidad, de quemar un combustible diferente al bagazo; el bunker C o *Fuel oil* No. 6 es el combustible alternativo que se inyecta al hogar de la caldera a través de dos quemadores que atomizan dicho combustible. Este generalmente se utiliza solo para los arranques anuales de la caldera. Pero su uso se ha reducido en el ingenio, debido al alto costo y a los gases contaminantes que se generan hacia la atmósfera.

El bunker es pasado por un proceso de calentamiento con vapor, es calentado a 160 °F para poder ser utilizado; luego es bombeado hasta los quemadores. En la tabla V se mencionan las propiedades de este combustible.

Tabla V. **Propiedades del bunker C**

H <sub>2</sub>	11.5%
C	85%
O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> +S	3.5%
Potencia calorífica superior, kcal/kg	10 300
Peso específico, grados API	10-18
Potencia calorífica superior, kcal/L	10 000
Aire estequiométricamente necesario, kg/kg de combustible	13,7

Fuente: ARREAZA, Jaenz. Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña. p. 28.

- Viscosidad: es una de las propiedades físicas que tiene mayor importancia en la utilización del producto. La norma nacional establece un valor máximo de 300 SSF (635 CST) a 50°C. La viscosidad debe estar acorde a

las especificaciones de los equipos, en lo que respecta a bombas, filtros y características de los quemadores.

- Temperatura de inflamación: es fijada como un parámetro de seguridad. Tiene especial importancia en el manejo y almacenamiento del producto.
- Agua y sedimento: disminuye el poder calórico del combustible y la temperatura, favoreciendo el punto de rocío y la corrosión. Si presenta valores altos propicia la obstrucción de filtros y boquillas en los quemadores.
- Densidad: no tiene relación directa con las características del combustible, pero es un dato necesario para los cálculos de balance de energía.
- Poder calórico: por ser el búnker un combustible residual, el poder calórico depende de la composición del crudo de origen. Conocer este valor es importante para el cálculo del balance y costo energético del producto. El búnker tiene un contenido calórico promedio de 9 500 kcal/kg.

### **1.2.2. Generación de vapor**

El ingenio cuenta con 7 calderas acuotubulares para la generación del vapor cuya producción depende de la demanda de consumo en fábrica y del proceso de Generación de Energía Eléctrica; en época de zafra se utiliza el bagazo de la caña de azúcar como combustible principal; a veces este bagazo se mezcla con bunker C (*Fuel oil* no.6). En la tabla VI se presentan las principales especificaciones de estas calderas.

Tabla VI. **Características principales de las calderas acuotubulares del ingenio La Unión**

No. Caldera	Generación de vapor	Presión del vapor	Temperatura
1	120 000 lbs/h	200 psig	450°F
2	120 000 lbs/h	200 psig	450°F
3	180 000 lbs/h	400 psig	620°F
4	150 000 lbs/h	600 psig	750°F
5	150 000 lbs/h	600 psig	750°F
6	250 000 lbs/h	900 psig	900°F
7	150 000 lbs/h	600 psig	750°F

Fuente: elaboración propia. Datos proporcionados por ingenio La Unión, S.A.

Una vez ingresado el bagazo y/o bunker con una cantidad de aire caliente dentro del hogar de la caldera, ocurre la ignición del combustible; la tubería que se encuentra en las paredes del hogar, contiene agua y por medio de radiación y convección de los gases calientes provenientes de la combustión, se calienta hasta transformarse en vapor sobrecalentado; este vapor será luego conducido a la casa de turbinas, según requerimiento de carga de las mismas.

Para que ocurra y se mantenga la combustión dentro de la caldera se necesita de combustible, en este caso bagazo y/o bunker, oxígeno, una chispa o fuego y una reacción química adecuada. El aire proviene de los ventiladores forzados, este pasa por los precalentadores de aire en donde recibe calor de los gases calientes de escape y luego entra por debajo de la parrilla del hogar y por toberas ubicadas debajo de las entradas de bagazo; esto permite que se forme un torbellino dentro del hogar para esparcir el bagazo y así se queme de una mejor manera.

La llama, por radiación calienta la tubería del sobrecalentador, donde el vapor saturado eleva su temperatura y se convierte en vapor sobrecalentado, cumpliendo así con los requerimientos de la turbina.

Los gases de la combustión se aprovechan para calentar por medio de convección, la tubería que sale del domo superior que contiene vapor saturado. Luego, estos gases pasan transmitiendo calor a la tubería con agua que conecta los domos inferior y superior; posteriormente, pasan por el economizador calentando la tubería que conduce el agua que está ingresando a la caldera; y finalmente, pasa por la tubería que precalienta el aire.

Los gases que van hacia la chimenea se lavan con chorros de agua a contracorriente; los gases lavados son extraídos por el vacío de los ventiladores inducidos, la ceniza generada por el lavado de gases es transportada a la planta de recuperación de agua de cenizas.

El vapor sobrecalentado entra a la turbina donde se expande isoentrópicamente y produce trabajo al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico. La presión y la temperatura del vapor disminuyen durante este proceso; al final de la turbina el vapor sale e ingresa al condensador, el cual es básicamente un intercambiador de calor que utiliza agua fría proveniente de una torre de enfriamiento. El vapor sale del condensador como líquido saturado y una bomba lo envía nuevamente hacia la caldera, constituyendo así un ciclo cerrado.

### **1.2.3. Generación de energía eléctrica**

El vapor generado en las calderas es conducido a través de tuberías que lo conducen hacia las turbinas, que consisten en tres etapas: alta, media y baja

presión. El objetivo de esta composición es aprovechar la energía que contiene el vapor, ya que este va perdiendo presión al expandirse isoentrópicamente y progresivamente dentro de la turbina. El vapor de agua con alta presión y temperatura pasa por las toberas, en donde la energía cinética se transforma en energía mecánica, que lo conducen hacia los álabes; cualquier cambio de magnitud y de dirección de la velocidad del vapor, es debido al efecto de una fuerza que es la acción de los álabes de la corona sobre el vapor.

La energía de rotación que lleva el eje de la turbina es transformada a su vez en energía eléctrica, gracias al acople con un generador síncrono.

El ingenio cuenta con 6 turbogeneradores; en la tabla VII se muestra información general acerca de ellos.

Tabla VII. **Características principales de los turbogeneradores del ingenio La Unión**

Turbogenerador	Tipo	Rpm	Presión	Temperatura	Capacidad
No. 1	Escape	4 800	200 psi	450°F	2 MW
No. 2	Escape	3 600	400 psi	650°F	5 MW
No. 3	Escape	3 600	600 psi	750°F	7,5 MW
No. 4	<i>Condensing</i>	3 600	900 psi	850°F	26 MW
No. 5	Escape	3 600	600 psi	750°F	10 MW
No. 6	Escape	6 000	600 psi	750°F	20 MW

Fuente: elaboración propia. Datos proporcionados por ingenio La Unión, S.A.



#### **1.2.4. Subestación eléctrica**

La energía eléctrica generada es suministrada en corriente eléctrica trifásica desde el generador síncrono a transformadores elevadores de voltaje en la subestación eléctrica, para posteriormente distribuirla a la línea de transmisión principal.

La red de transmisión del sistema eléctrico interconectado está constituida por las líneas de transmisión de alta tensión 69Kv, transformadores de potencial y de corriente, interruptores, aisladores, pararrayos y otros elementos eléctricos necesarios para recibir la energía eléctrica producida por las plantas generadoras.

La energía producida es suministrada a la red nacional a través de un ente regulador, la del Mercado Eléctrico Mayorista, quien es el responsable de organizar, distribuir y hacer llegar la energía eléctrica a donde se requiera, esta función se realiza las 24 horas, los 365 días del año.

La misión a cumplir es la de proporcionar el servicio de energía eléctrica en condiciones de cantidad, calidad, continuidad y seguridad a todos los clientes.

#### **1.2.5. Planta de tratamiento de agua del lavado de gases**

Como parte de las políticas de mitigación de los efectos contaminantes del ingenio La Unión, se implementó un sistema para el lavado de los gases provenientes de la combustión en calderas; este sistema permite capturar arena, hollín, ceniza y combustible no quemado, a través del lavado de los gases con chorros de agua a contracorriente.

El agua utilizada para lavar los gases, después de actuar sobre los mismos, recolecta en drenajes y tuberías, luego se envía hasta una planta de tratamiento, donde se separa el agua de los sólidos; estos se van al campo para servir como *compost* y el agua es recirculada para lavar nuevamente los gases. El proceso empieza cuando el agua sucia ingresa a un tanque donde se almacena y luego por bombeo se alimenta hacia una estación de decantadores, en ellos se realiza la separación de los lodos contenidos en el agua por medio de la aplicación de un floculante, en la parte inferior del decantador se extraen los sólidos y en la parte superior rebalsa el agua limpia que se almacena y luego se envía nuevamente hacia los lavadores de gases.

Los lodos extraídos de los decantadores, se bombean a un filtro rotativo, el cual separa cierta parte de humedad en ellos. El lodo cae por gravedad hasta un conductor que lo transporta hacia una prensa hidráulica que lo compacta y le extrae aún más agua; el lodo seco y compactado se descarga sobre camiones que lo trasladan a los campos cañeros para utilizarlo como abono. El agua extraída del filtro y las prensas hidráulicas, retorna hacia el tanque de agua sucia para su reproceso.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO-PROFESIONAL**

### **2.1. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales**

En esta sección se describe detalladamente las especificaciones del sistema, el proceso, la operación normal y las rutinas de operación.

#### **2.1.1. Especificaciones del sistema**

- Capacidad: 4 400 gpm de fluido
- Calidad del agua tratada: sin sólidos en suspensión, a manera de posibilitar el lavado de los gases de las calderas, sin obstrucción de los aspersores de los lavadores (*scrubbers*).
- Régimen de operación: 24 horas por día
- Sistema en circuito cerrado

#### **2.1.2. Descripción del proceso**

El agua con ceniza extraída de los lavadores de gases (*scrubbers*) de las calderas son drenados en un canal, juntamente con el agua de reposición (*make-up*). En seguida toda esa agua pasa por un filtro de mallas de acero inoxidable, luego del filtro (con un *mesh* de 3 mm de diámetro) el agua con ceniza se deposita en un tanque llamado "de agua sucia".

Los sólidos que son retenidos en este filtro se transportan por dos conductores de tablillas colocados en serie hacia la tolva para lodos; en su recorrido pasan por una etapa de prensado hidráulico en donde se les extrae agua.

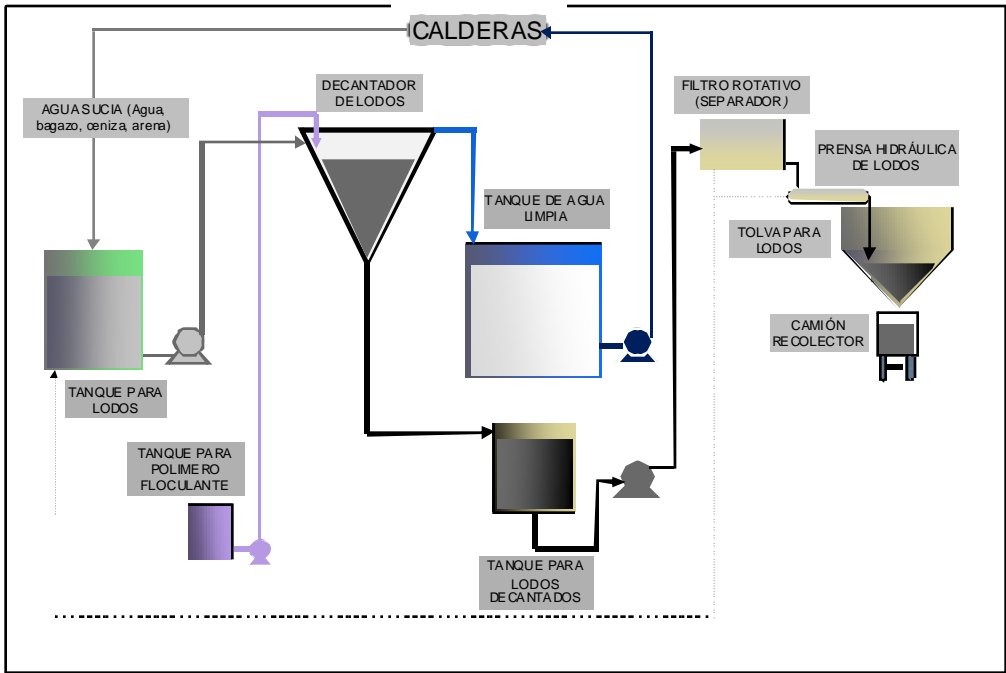
Del tanque de agua sucia, el agua es bombeada por una de las dos bombas centrífugas hacia la estación de decantado de lodos. Antes de entrar a cada uno de los decantadores, al flujo de agua sucia se le adiciona un polímero floculante; este se prepara previamente en un tanque aireado con aire comprimido y con agitación mecánica, así se dosifica con una de las dos bombas rotativas volumétricas de desplazamiento positivo.

Después de la etapa de floculación de los lodos, el efluente sigue dentro de los decantadores hasta las cámaras de decantación, donde los flóculos formados con la ceniza, por peso, se sedimentan en el fondo de los tanques formando aquí una capa de lodo más concentrado y espeso, por diferencia de densidades, el agua contenida en el “agua sucia”, permanece en la capa superior del decantador, rebalsando a través de vertederos y se conduce hacia un tanque de agua limpia, es decir, sin cenizas. De este tanque, el agua es bombeada por una de dos bombas centrífugas y es enviada de vuelta a los lavadores de gases (*scrubbers*).

Por gravedad, el lodo decantado es continuamente retirado del fondo de los decantadores, el flujo de lodo se controla y ajusta manualmente en las válvulas de fondo de los decantadores, el lodo de los 6 decantadores cae hacia el tanque para lodos decantados. Este lodo es bombeado por una de las dos bombas centrífugas hacia la entrada de un filtro rotativo, en este filtro, el lodo pasa por unas laminillas de acero inoxidable con pequeños orificios que por movimiento y fuerza centrífuga separa el agua de los lodos.

El lodo retenido dentro del filtro, avanza y cae al conductor de tabillas No. 2, que lo transporta hacia el prensado, mencionado anteriormente. El material compactado y seco cae por gravedad hacia la tolva para lodos, de aquí es retirado en camiones que lo trasladan a los campos cañeros para utilizarlo como abono y para el acondicionamiento de los suelos. El agua extraída en las prensas hidráulicas regresa por gravedad hacia el tanque de agua sucia; de aquí sigue nuevamente el proceso descrito anteriormente. La figura 5 muestra el diagrama de flujo del sistema analizado.

Figura 5. **Operación sistema de tratamiento de agua para lavado de gases**



Fuente: ingenio La Unión, S.A. Documentos varios.

### **2.1.3. Operación normal**

Las condiciones de puesta en marcha y detención del sistema, descritas en esta sección, se aplican cuando el mismo se encuentre parado, vacío, o en operación normal.

#### **2.1.3.1. Procedimiento previo a la puesta en marcha**

Para arrancar el sistema de tratamiento de agua de lavado de gases, se sigue el procedimiento descrito a continuación:

- Verificar que todos los motores se encuentren apagados.
- Verificar que el polímero floculante esté debidamente preparado y que haya la cantidad necesaria para la operación del sistema en régimen continuo.
- Chequear la dosificación del polímero floculante a ser utilizado y el correspondiente flujo para ajustar las bombas de polímero floculante.
- Chequear que las siguientes válvulas estén correctamente calibradas
  - De drenaje de fondo de los decantadores cerradas
  - De alimentación de los decantadores abiertas
  - Las de la bomba para polímero floculante, alineadas para la dosificación de polímero (seleccionar solo una bomba)

- Válvulas abiertas de dosificación de polímero floculante en los decantadores.
- Las que sirven de recalque de la bomba para agua limpia, abiertas hacia los lavadores de gases de las calderas.

Nota: si los decantadores se encuentran vacíos, llenarlos con agua limpia hasta su nivel de operación. El STARI no debe iniciar su operación con los decantadores vacíos, de esta manera se evita el taponamiento con lodo de las tuberías.

#### **2.1.3.2. Puesta en marcha**

Con los procedimientos ejecutados mencionados en la sección anterior, proceder conforme a lo siguiente:

- Accionar los conductores para lodos
- Iniciar el bombeo de agua con lodos por la bomba hacia los decantadores
- Iniciar la dosificación de polímero floculante por medio de la bomba
- Chequear la alimentación de floculante en los decantadores y ajustar un flujo uniforme en todos
- Iniciar la descarga del lodo por la tubería de fondo de los decantadores, regular flujo con válvulas de fondo

- Cuando comience a rebalsar el agua limpia por los vertederos de los decantadores, encender la bomba para agua limpia (asegurarse que el nivel del tanque de agua limpia esté al menos en un 75%).
- Abrir la válvula de reposición de agua (*make-up*) y observar la adecuada operación de la llave de nivel que controla el nivel del flujo en el tanque para agua limpia.
- Proceder al ajuste preciso de la descarga de lodo y de la dosificación de producto floculante.
- Proceder a la retirada de lodo con camión cuando la tolva para lodos esté llena.

### **2.1.3.3. Detención y paro**

Las instrucciones siguientes conducen al STARI, de una condición de operación normal, a una condición de parada completa. Tales procedimientos son los siguientes:

- Interrumpir el flujo de agua sucia hacia los decantadores, apagando la bomba de agua sucia;
- Apagar la bomba de agua limpia;
- Mantener el drenaje de lodo por el fondo de los decantadores, recirculando el agua que pasa por los filtros para el tanque de agua sucia. Ajustar el flujo de la bomba de agua sucia, con el fin de mantener constante el nivel del tanque de agua sucia;



- Apagar la bomba para polímero floculante.
- Drenar completamente los fondos de los decantadores hasta que no salga más lodo.
- Cerrar la válvula de drene de lodo de los decantadores.
- Apagar la bomba de agua sucia.
- Drenar las líneas y canaletas de lodo y limpiar con agua las mismas.
- Proceder a la limpieza de los conductores para lodos.

#### **2.1.4. Rutinas de operación**

A continuación se mencionan las principales rutinas de operación en el STARI.

##### **2.1.4.1. Nivel de operación de los decantadores**

El nivel de operación en los decantadores está definido por la posición de los vertederos instalados en las salidas de estos. El ajuste de los vertederos se debe de realizar al final del montaje y antes de iniciar la operación del sistema. Por tanto, se debe llenar los decantadores con agua de proceso con las válvulas de alimentación de agua abiertas para posibilitar el efecto de “vasos comunicantes” entre los tanques. Los decantadores deben ser llenos hasta que el agua comience a rebalsar por los vertederos a través de sus tornillos de ajuste, hasta que los niveles en todos los tanques estén al mismo nivel de agua, en la base de los dientes de los vertederos y equilibrados en toda su extensión.

#### **2.1.4.2. Alimentación de los decantadores**

Durante la operación, para evitar el desgaste por abrasión de las válvulas de entrada de agua sucia en los decantadores, deben estar 100% abiertas. Si uno de los decantadores presenta un flujo superior a los demás, se debe regular su respectiva válvula de entrada, de forma que se equilibre el flujo con los demás decantadores. Una variación excesiva de flujo entre los decantadores es causada por un ajuste indebido de los vertederos.

#### **2.1.4.3. Flujo de agua tratada a las calderas**

El flujo de agua no debe sobrepasar los límites máximos establecidos en el proyecto, de 4 400 gpm.

El flujo de agua tratada a ser enviado para las calderas, debe ser ajustado manualmente a través de la válvula de descarga de la bomba de agua limpia. En el tanque de agua limpia existe un control de nivel por llave de nivel alto y bajo que controla la reposición (*make-up*) del agua que se pierde en el sistema, debido a las pérdidas de humedad en el lodo y de agua en los gases de chimenea. Esa reposición de agua ocurre en el tanque de agua limpia y en el canal de agua sucia de calderas.

#### **2.1.4.4. Flujo de agua sucia a los decantadores**

Todas las corrientes de agua con ceniza proveniente de las calderas, entran en el tanque de agua sucia. El nivel de operación del tanque debe ser constante; este nivel se controla ajustando la velocidad de la bomba, que envía el flujo hacia los decantadores.

Actualmente, el control de nivel del tanque de agua sucia es también ajustado de forma manual; esto se realiza a través de la regulación de la válvula de descarga de la bomba de agua sucia. Al cambiarse el flujo de agua limpia enviada hacia las calderas y el flujo de lodo drenado de los decantadores, se varía el flujo de agua con ceniza, alimentando al tanque de agua sucia, requiriéndose un nuevo ajuste de flujo para las bombas, a manera de mantener el nivel estable en el tanque.

#### **2.1.4.5. Flujo y nivel de lodo en los decantadores**

El lodo decantado en el fondo de los decantadores debe ser continuamente drenado mientras el sistema esté en operación, evitándose así la acumulación de lodos en estos. Su descarga es realizada a través de las válvulas para lodo, instaladas en el fondo de los decantadores. El ajuste del flujo de lodos debe ser hecho desde la observación del nivel de lodo decantado en los decantadores. De manera general, para referencia, se puede ajustar el flujo de lodos alrededor del 10% del flujo de agua con lodos alimentando al STARI, pudiendo tal flujo ser alterado dependiendo de la cantidad de sólidos existentes en el agua.

Siempre que la cantidad de sólidos que llega al STARI desde las calderas, es más grande que la cantidad de sólidos desechada del sistema a través de la tolva, ocurre una acumulación de sólidos en los decantadores, llevando a un aumento en el nivel de lodo en el interior de los decantadores. Con el aumento del nivel de sólidos, se reduce el tiempo de retención para la decantación de los sólidos (debido a la reducción del volumen de decantación disponible), reduciéndose así, la capacidad de tratamiento del sistema, y favoreciendo la salida de pequeños flóculos de impureza más livianos junto al agua tratada.

Para reducir el nivel de sólidos en los decantadores es necesario aumentar la cantidad de sólidos que es removida de ellos.

Siempre que el flujo de lodos drenado por el fondo de los decantadores es modificado, ocurre un ajuste natural del sistema, hasta que una nueva condición de equilibrio es alcanzada. Para una misma cantidad de carga de sólidos alimentada al STARI, cuanto mayor sea el flujo de lodo ajustado, menor será la concentración de sólidos en el lodo en equilibrio, y viceversa.

Sin embargo, con el aumento del flujo del lodo y su consecuente reducción en concentración, la eficiencia de los decantadores en la retención de los sólidos en el lodo será menor, causando un aumento en el lodo reciclado para el proceso (se recicla para el tanque de agua sucia y de este para los decantadores). Arriba de un cierto flujo de lodo, el efecto deseado de remoción de sólidos en el sistema se compromete, y se presenta una caída en la separación de sólidos.

De esa forma, cuando se ajusta el flujo de lodo drenado de los decantadores se debe tener en mente el objetivo del proceso, que es la maximización de la cantidad de sólidos removida por el sistema, lo que puede ser acompañado a través de la observación de la cantidad de lodos arrastrada por los conductores con filtros, hacia la tolva para lodos.

Una vez cambiado el flujo de lodo, la nueva condición de equilibrio requiere un cierto tiempo para ser alcanzada. Cuando el flujo de lodo es cambiado, se debe observar por un cierto tiempo la respuesta del sistema, hasta que la nueva condición de equilibrio sea alcanzada.

En caso que ocurra un taponamiento en las válvulas para lodo, se debe proceder a su destape a través del cambio de apertura o de la inyección de agua por medio de las válvulas para desbloqueo, ubicadas en el fondo de los decantadores.

#### **2.1.4.6. Adición de polímero floculante general**

El polímero floculante es un agente de macrofloculación y es agregado en las entradas de los decantadores. La dosificación ideal depende de la cantidad de ceniza en el agua sucia. En general, durante el inicio de la operación del STARI se utiliza una dosificación más elevada (1,0 hasta 1,2 ppm), una vez que el sistema está cargado de impurezas acumuladas en las calderas. Conforme la operación del sistema se estabiliza, la cantidad de producto puede ser reducida (0,5 hasta 0,8 ppm), permitiendo la optimización de su consumo.

El producto es suministrado en forma sólida, graneada, siendo necesaria su disolución en agua desmineralizada. La preparación de la solución es hecha en los tanques para polímero floculante de la siguiente manera:

- Agregar 2 000 litros de agua desmineralizada en los tanques para polímero floculante (aproximadamente un tercio de la altura cilíndrica del tanque);
- Iniciar la agitación, a través de los serpentines de aire comprimido y del agitador mecánico en el tanque;
- Iniciar la alimentación de agua en los tanques a través del embudo de alimentación de polímero floculante al tanque;

- Iniciar la adición de polímero floculante por el embudo de alimentación, de forma lenta y gradual, evitando la formación de grumos de producto en el interior del tanque;
- Regular un flujo de agua que facilite la mezcla y la adición del producto;
- Terminada la adición del producto, completar el nivel de operación del tanque con agua;
- Guardar la mezcla y disolución completa del producto, manteniéndose la agitación durante cerca de 30 minutos;
- Después de la mezcla del producto, apagar la agitación con aire y mantener la mecánica;
- Antes de iniciar el bombeo del producto a través de las bombas para polímero floculante, accionar la agitación por cerca de 15 minutos, para homogeneizar el medio;

La solución puede ser preparada con concentraciones desde 0,05 hasta 0,20% p/v (0,5 hasta 2,0 g/L). Para la preparación de una solución a 2 g/L, se procede de la siguiente forma:

- Volumen útil del tanque: 5,0 m<sup>3</sup>.
- Masa del producto a ser disuelta en un tanque: 5,0 kg.
- Disolución: 5 000 g/ 5 000 L = 1,0 g/L.

Figura 6. Preparación de polímero flocculante



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

A continuación se presenta un cálculo estimado del consumo de flocculante para las condiciones medias esperadas para el sistema:

- Ejemplo 1:
  - Preparación de la solución de polímero a ser utilizada: 2 g/L.
  - Flujo de agua con ceniza: 700 m<sup>3</sup>/h.
  - Dosificación: 1 g/m<sup>3</sup> (1 ppm)
  - Consumo de solución:  $1 \text{ g/m}^3 * 700 \text{ m}^3/\text{h} / 2 \text{ g/L} = 350 \text{ L/h}$
  - Tiempo de utilización de un tanque:  $5\ 000 \text{ litros} / 350 \text{ L/h} = 14,3 \text{ h}$
  - Consumo de producto:  $1 \text{ g/m}^3 * 700 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/día} = 16,8 \text{ kg/día}$  o 504 kg/mes => 20 bolsas de 25 kg/mes.

- Ejemplo 2:
  - Preparación de la solución de polímero a ser utilizada: 1 g/L.
  - Flujo de agua con ceniza: 800 m<sup>3</sup>/h.
  - Dosificación: 0,8 g/m<sup>3</sup> (0,8 ppm)
  - Consumo de solución: 0,8 g/m<sup>3</sup> \* 800 m<sup>3</sup>/h / 1 g/L = 640 L/h
  - Tiempo de utilización de un tanque: 5 000 litros / 640 L/h = 7,8 h
  - Consumo de producto: 0,8 g/m<sup>3</sup> \* 800 m<sup>3</sup>/h \* 24 h/día = 15,4 kg/día o 462 kg/mes => 19 bolsas de 25 kg/mes.
  
- Ejemplo 3:
  - Preparación de la solución de polímero a ser utilizada: 1 g/L.
  - Flujo de agua con ceniza: 1 000 m<sup>3</sup>/h.
  - Dosificación: 0,8 g/m<sup>3</sup> (0,8 ppm)
  - Consumo de solución: 0,8 g/m<sup>3</sup> \* 1 000 m<sup>3</sup>/h / 1 g/litro = 800 L/h
  - Tiempo de utilización de un tanque: 5 000 litros / 800 L/h = 6,25 horas
  - Consumo de producto: 0,8 g/m<sup>3</sup> \* 1 000 m<sup>3</sup>/h \* 24 h/día = 19,2 kg/día o 576 kg/mes => 23 bolsas de 25 kg/mes.

Nota: para reducción de los costos con polímero floculante, se recomienda ajustar su dosificación en el valor mínimo necesario para la obtención de una calidad de agua, con los requisitos necesarios para su utilización en el lavador de gases (*scrubber*).

La adición del polímero floculante se hace con las bombas de polímero floculante; estas son bombas de desplazamiento positivo del tipo tornillo. El ajuste del flujo de polímero floculante es hecho a través del ajuste manual del variador de frecuencia del motor de la bomba.



Para evitar daños a las bombas de polímero floculante, nunca deben operarse con el tanque de floculante vacío.

#### **2.1.4.7. Flujo de lodo**

Observar el flujo de lodo drenado de los decantadores. En ningún momento debe haber taponamiento de las válvulas de fondo de los decantadores.

#### **2.1.4.8. Remoción de sólidos**

Observar la cantidad de sólidos arrastrados por los conductores. Cuando la cantidad reduzca, sin aparente disminución de la carga de sólidos, deben analizarse las posibles razones.

#### **2.1.4.9. Nivel de lodo en los decantadores**

Observar el nivel de lodo en los decantadores. Se utiliza una varilla calibrada de PVC o de hierro para efectuar la evaluación manual del nivel.

#### **2.1.4.10. Calidad del agua tratada**

Evaluar la calidad del agua tratada a través de la observación del agua que rebalsa por los vertederos de los decantadores. Tomar muestras y registrar tiempo y calidad del decantado.

#### **2.1.4.11. Calidad de la floculación**

Evaluar la calidad de la floculación a través de la observación de muestras recolectadas en la entrada de los decantadores, después de la admisión del polímero. Al dejar decantar la muestra en una probeta (cilindro graduado), los sólidos deben, rápidamente, decantar en su fondo (cerca de 1 minuto). En caso de que la decantación no se presente eficiente, evaluar la dosificación del polímero.

#### **2.1.4.12. Evaluación de la concentración del lodo**

Periódicamente se debe efectuar la evaluación de la concentración de lodo de los siguientes flujos:

- Agua con cenizas provenientes de las calderas, muestra recolectada en la alimentación del tanque de agua sucia.
- Alimentación de los decantadores, muestra recolectada en la cámara de alimentación de los decantadores, después de la admisión del polímero floculante.
- Lodo, muestra recolectada en la salida del fondo de los decantadores.

A través de la adición de una pequeña cantidad de floculante en las muestras, esperar cerca de 5 minutos y observar el porcentaje de sólidos decantados.

#### **2.1.4.13. Verificar la alimentación a los camiones**

Se debe observar que el nivel de lodos dentro de los camiones no sea muy elevado, para que al momento de movilizarlos, no se derramen en el camino hacia los campos cañeros.

### **2.2. Descripción del equipo utilizado en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales**

A continuación se describen las características principales de los equipos que conforman el STARI.

#### **2.2.1. Lavadores de gases**

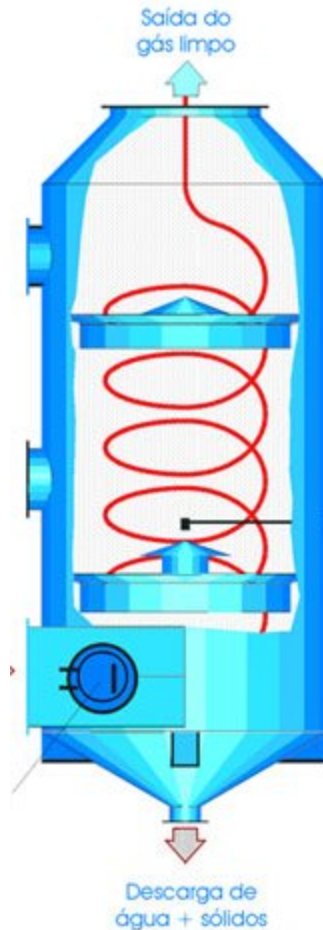
También llamados *scrubbers* o colectores de hollín, dentro de ellos se aplican chorros de agua a contracorriente a los gases de la combustión que se extraen del hogar de las calderas y que van hacia la chimenea; de esta manera se reduce la descarga de cenizas y polvos a la atmósfera.

Por ejemplo, el procedimiento del lavado de gases del colector de la caldera 6 es el siguiente: los gases ingresan al colector por la parte media de este, en seguida se inducen a pasar por una serie de mamparas o láminas con 48 aspersores de agua; luego los gases bajan al fondo y suben hasta llegar a otra serie de 24 aspersores; posteriormente, pasan por una serie de 6 aspersores. Los gases lavados salen hacia los ventiladores de tiro inducido para luego ser expulsados por la chimenea. Por su lado, el agua utilizada en el lavado de los gases, por gravedad, cae al fondo del *scrubber*, de donde se canaliza hacia la planta de tratamiento, específicamente hacia el tanque de agua sucia.

Las características de diseño del colector de hollín de la caldera 6 son:

- Caudal de gases a la entrada del *scrubber* (diseño): 251,165 kg/h
- Temperatura de los gases en la entrada (diseño): 184°C
- Cantidad de polvo en la entrada (diseño): 4 081 mg/m<sup>3</sup>
- Caudal de gases en la salida: 251,165 kg/h
- Temperatura de los gases en la salida: 184°C
- Cantidad de polvo en la salida: <160 mg/Nm<sup>3</sup>
- Pérdida de carga en el captador: 40mmca
- Caudal de agua para el captador: 230 m<sup>3</sup>/h
- Caudal de agua evaporada: 11 m<sup>3</sup>/h
- Caudal de agua para el sistema de separación de sólidos: 1 000 gpm
- Caudal de agua de *make-up* (reposición): 11 m<sup>3</sup>/h
- Cantidad de cenizas colectadas: 1 417 kg/h
- Diámetro del cuerpo: 8,9 m
- Altura del cuerpo más estructura: 15 m
- Diámetro de la chimenea: 2,95 m
- Altura de la chimenea: 30 m
- Material del cuerpo: acero inoxidable (A 36)
- Material del revestimiento interno: AISI 304L
- Espesor del cuerpo: 6,30 mm
- Espesor del revestimiento: 2 mm
- 2 bombas de recirculación con flujo 2 000 gpm y presión de 50 psig
- 53 boquillas aspersoras de agua

Figura 7. Diagrama del lavador de gases de la combustión en calderas



Fuente: Manual STARI. Ingenio La Unión, S.A. p. 17.

En los colectores de hollín que se encuentran instalados en las calderas tres, cuatro, cinco y siete, los gases entran a una cámara donde hacen contacto con un flujo de agua atomizada a contracorriente producida por boquillas aspersoras de tipo espiral de pase libre.

Los colectores están colocados en la trayectoria vertical del flujo de gases de combustión en las calderas.

La aspersión del líquido ocurre en contraflujo de los gases, en donde el gas entra en el fondo del separador y llega a la parte superior; el agua es dispersada hacia abajo desde las boquillas montadas en un sistema de tuberías colocadas al centro del separador.

Las pequeñas gotas de agua capturan las partículas de material suspendidas en el flujo de gas por medio del impacto. Las gotas son suficientemente grandes y caen por gravedad; todas las partículas de material se recolectan al fondo, los cuales son conducidos por un canal hacia el STAR1.

### **2.2.2. Conductores para lodos**

El sistema cuenta con dos conductores para transportar los lodos; el conductor #1 está fabricado con lámina de acero inoxidable (ASTM A-36) de ¼" en su totalidad, de 48" de ancho por 32" de alto por 73' de largo, este conductor posee en su interior cinco telas filtro, las cuales son del tipo *Vee Wire* con un área de filtrado de 80 pies cuadrados; posee una parte horizontal que mide 40 pies de largo, donde se encuentran las telas; además, tiene una parte inclinada que mide 33 pies de largo a 23°, la cual descarga al conductor #2; los dos conductores existentes tienen una bandeja en la parte inferior en la cual recibe el agua que se filtra y la conduce hacia el tanque de agua sucia.

Para su movimiento, los conductores poseen un motor eléctrico de 10 Hp, 1 750 rpm, acoplado a una caja reductora con *ratio* 18:1, que tiene un *sprocket* de 19 dientes y la cadena RC 160 doble que transmite movimiento al eje motriz del conductor que tiene otro *sprocket* de 60 dientes, que permite que se alcance una velocidad de 34,45 pies/minuto.

Las tablillas del conductor no.1 que transportan las partículas de lodo que se filtraron, son fabricadas de arguto, hule de 1/2" y angulares de acero inoxidable (ASTM A-36) de 3"x3".

Las tablillas de 47" de ancho se sitúan dejando seis eslabones de cadena entre ellas, montadas sobre la cadena tipo rivetless 458 de 4" de paso.

El conductor #2 también está fabricado con lámina de acero inoxidable (ASTM A-36) de ¼" de espesor, mide 36" de ancho por 30" de alto por 70 pies de largo, tiene una inclinación de 26° respecto de la horizontal.

Para su movimiento el conductor posee un motor eléctrico de 10 Hp. 1 750 rpm, acoplado a una caja reductora con ratio 18:1, que tiene un *sprocket* de 19 dientes y una cadena RC 160 doble que transmite el movimiento al eje motriz del conductor, que tiene otro *sprocket* de 60 dientes; esta transmisión permite que se obtenga una velocidad promedio de 34,45 pies/ minuto.

Este conductor recibe todo el material filtrado del conductor #1 y lo transporta por medio de tablillas fabricadas de arguto, hule de ½" y angulares de acero inoxidable (ASTM A-36) de 3"x3", a la tolva para lodos.

Las tablillas de 35" de ancho se sitúan dejando ocho eslabones de cadena entre ellas, montadas sobre la cadena tipo rivetless 458 de 4" de paso.

Figura 8. **Conductor para lodos no.1**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.3. Tanque de agua sucia**

El tanque de agua sucia es utilizado para recibir el agua con lodos proveniente de los *scrubbers* de las calderas, tiene una capacidad máxima de 12 976 galones de agua y está fabricado de concreto con forma rectangular.

Para el proceso de clarificación se debe trabajar aproximadamente a  $\frac{3}{4}$  de su capacidad para mantener el nivel de operación; luego, esta agua acumulada es bombeada a los decantadores para el proceso de limpieza.

Posee un agitador mecánico compuesto por un motor-reductor que le transmite potencia al eje, con cuatro paletas para agitar los lodos dentro del tanque.



Figura 9. **Tanque de agua sucia**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

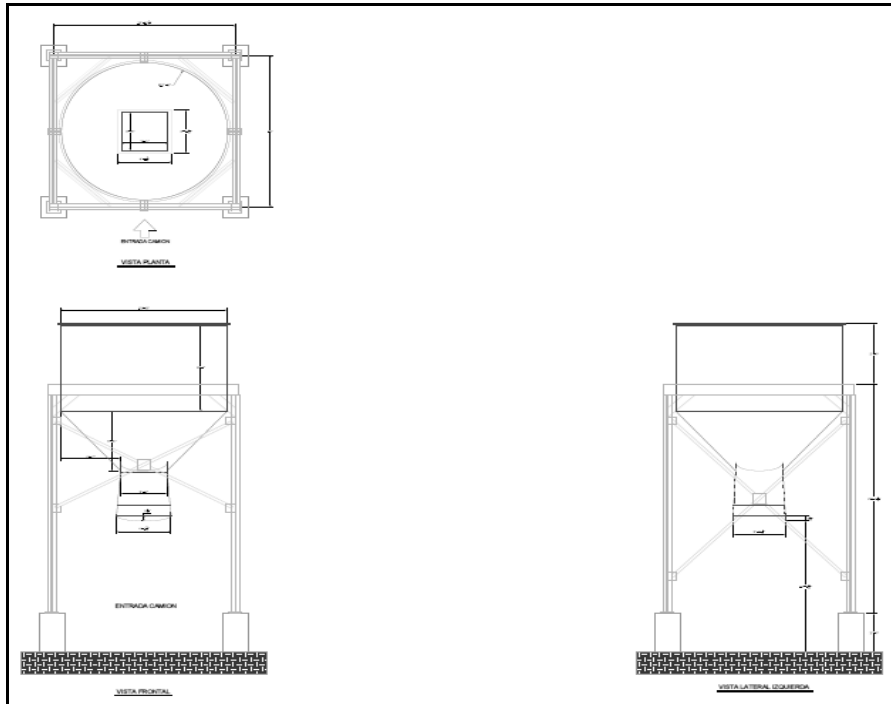
#### **2.2.4. Tolva para lodos**

Esta tolva está fabricada de lámina de acero inoxidable (ASTM A-36) de ¼” de espesor; es utilizada para almacenar y luego descargar a los camiones todos los lodos que son extraídos por el STARI. La prensa hidráulica le descarga lodo seco y el conductor número 2 también le descarga a la tolva el lodo restante que no logra ingresar a la prensa.

La tolva tiene la capacidad para almacenar hasta 6 toneladas de lodo y se encuentra equipada con un mecanismo hidráulico motor-bomba hidráulica con accionamiento manual para poder abrir y cerrar la compuerta de descarga de lodos.

Posteriormente, estos lodos se trasladan hacia campos cañeros para utilizarlos como abono. En la figura 10 se muestra un plano de la tolva para lodos.

Figura 10. Tolva para lodos



Fuente: planos del STARI. Ingenio La Unión, S.A.

### 2.2.5. Bomba para agua sucia

El STARI cuenta con dos bombas centrífugas horizontales con rotor tipo *semivortex* con álabes de 5 paletas de acero inoxidable; utiliza un motor eléctrico de 125 Hp; 1 185 rpm, 460 V. La bomba es especial para líquidos con sólidos.

Tiene una capacidad máxima de bombeo de 870 m<sup>3</sup>/hr (3 830,5 gpm). Para la lubricación de las partes internas de la bomba se utiliza el aceite ISO VG 68. En el lado de succión, la bomba posee un diámetro de 20 pulgadas, mientras que en el de descarga, 18 pulgadas.

Estas bombas son utilizadas para enviar el agua con lodos proveniente de los lavadores de gases de las calderas hacia las entradas de los 6 decantadores para realizarle el tratamiento. La figura 11 muestra la bomba centrífuga Imbil y la figura 12 muestra el impulsor de la bomba.

Figura 11. **Bomba centrífuga Imbil**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Figura 12. **Impulsor**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### 2.2.6. Decantadores de lodos

Los decantadores son construidos con láminas de acero al carbono de ¼” y están disponibles en dos versiones: decantadores para las capacidades unitarias de 120 m<sup>3</sup>/h y de 220 m<sup>3</sup>/h, con dimensiones de 3m x 5m y de 4m x 6m, respectivamente. Los 6 decantadores del sistema tienen capacidad para 200 m<sup>3</sup>/h cada uno.

Los decantadores están especialmente proyectados para la separación de los sólidos constituyentes de la ceniza, conjuntamente con la arena y el bagazo no quemado.

La cantidad de decantadores necesarios para la operación se definen de la siguiente manera:

- Capacidad por decantador: 200 m<sup>3</sup>/h
- Cantidad de decantadores necesarios para cubrir la demanda de lodos:  
 $880 \text{ m}^3/\text{h} / 200 \text{ m}^3/\text{h} = 4,4$
- 5 decantadores en operación se necesitan para cubrir con el flujo de lodos enviado al sistema.

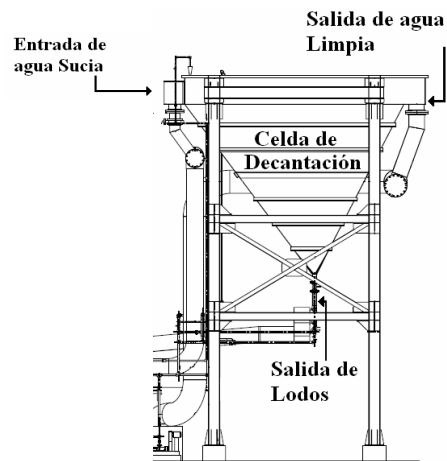
La figura 13 muestra el sistema de 6 decantadores y la figura 14, las partes de un decantador de lodos.

Figura 13. Decantadores del ingenio



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Figura 14. Partes principales de un decantador de lodos



Fuente: Manual del STARI. Ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.6.1. Decantación**

La decantación es el proceso unitario más utilizado para realizar la separación de sólido-líquido. La sedimentación o decantación, consiste en la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de la gravedad. La decantación de lodos de aguas residuales es un proceso que depende del tiempo. Existen 2 tipos principales de decantación:

- Decantación discreta: en esta, las partículas no sufren cambios en sus características físicas (forma, tamaño, densidad) durante la caída, además se presenta en suspensiones con bajas concentraciones de sólidos, cada una de las partículas se comporta como entidades individuales y casi no hay interacción entre ellas.
- Decantación partículas flocculentas: esta es producida por la aglomeración de partículas coloidales desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) sí cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación ocurre cuando se tienen bajas concentraciones de partículas que son susceptibles de floccular.

### **2.2.7. Tanque para polímero flocculante**

Los tanques de flocculante son cilíndricos, están fabricados de lámina de acero inoxidable (ASTM A-36) de ¼" de espesor, los cuales se utilizan para la elaboración del polímero flocculante; tienen una capacidad máxima de 1 415 galones.

Estos tanques están diseñados en la parte superior con una entrada de forma cónica para la disolución del floculante en polvo, una entrada de agua y una entrada de aire, como se muestra en la figura 15.

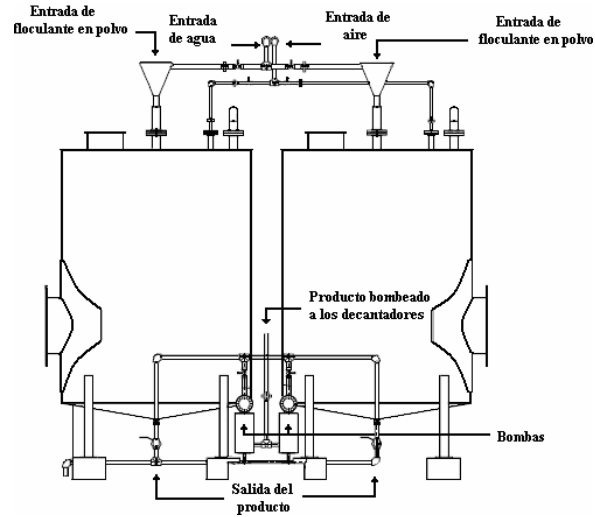
Para la operación del tratamiento de agua se debe de trabajar aproximadamente a  $\frac{3}{4}$  de su capacidad máxima; luego de ser preparado el polímero, las bombas dosificadoras se encargan de bombear el producto hacia la cámara de entrada de los decantadores para su aplicación.

Estos tanques poseen un sistema para agitar el floculante, un tanque tiene un agitador por medio de aire comprimido, que básicamente es una flauta o serpentín rectangular fabricado de tubo galvanizado de  $\frac{1}{2}$ ", la cual está perforada en su periferia.

Posee 20 agujeros perforados de  $\frac{3}{16}$ " de diámetro en la parte superior del tubo, 8 agujeros perforados de  $\frac{3}{16}$ " en la parte inferior y 13 agujeros de  $\frac{3}{16}$ " a  $90^\circ$  del tubo a favor de las manecillas del reloj.

Este agitador es de tipo neumático; el aire es suministrado por medio de un compresor de tipo reciprocante y tanque pulmón. Es usado para preparar la dosificación del floculante y debe estar operando cada vez que haya necesidad de preparar el polímero, por lo menos media hora de haberse diluido el floculante.

Figura 15. **Tanques para preparación del polímero floculante**



Fuente: Manual del STARI. Ingenio La Unión, S.A.

### 2.2.7.1. Floculación

Consiste en la aglomeración de las partículas inestables en microfloculos y después en floculos más grandes que caen como consecuencia de la acción de la gravedad. Además los floculos que se pueden formar, tienen tamaños que varían desde las micras hasta varios milímetros y su forma es irregular.

### 2.2.7.2. Floculante

El polímero floculante promueve la floculación de las impurezas del lodo con ceniza, acelerando su decantación. El floculante que se utiliza en el sistema se llama SUPERFLOC C-492 HMW de alto peso molecular y es catiónico. Químicamente es descrito como poliacrilamida catiónica. No provoca ningún riesgo humano ni ambiental.



Tabla VIII. **Propiedades físicas y químicas del floculante  
Superfloc C-492 HMW**

Color	Blancuzco
Aspecto	Polvo cristalino
Olor	Ninguno
Temperatura de ebullición/rango	No aplicable
Temperatura de fusión	No disponible
Presión de vapor	No aplicable
Gravedad específica	0,75 (densidad de volumen, g/ml)
Densidad de vapor	No aplicable
% Volátil (por peso)	7 – 8
pH	3 – 5 como solución
Saturación en aire (% en Vol.)	No aplicable
Índice de evaporación	No aplicable
Solubilidad en el agua	Limitado por la viscosidad
Contenido orgánico volátil	No disponible
Punto de inflamación	No aplicable
Límites de inflamabilidad (% por vol)	No aplicable
Temperatura de autoignición	>150°C
Temperatura de descomposición	>150°C
Coeficiente de reparto (noctanol/agua)	No aplicable

Fuente: Ficha de datos de seguridad de floculante C-492 HMW. p. 3.

### 2.2.8. **Bombas para polímero floculante**

Es una bomba rotativa volumétrica de desplazamiento positivo, las piezas principales que configuran el sistema son: el rotor y el estator.

El rotor es un tornillo con paso extremadamente grande, con profundidad de filete grande y con un diámetro de núcleo pequeño; es decir, un husillo sinfín helicoidal de sección circular de geometría de 1/2 paso o de sección elíptica de geometría de 2/3 paso. El estator tiene dos o tres filetes y una longitud de paso 2 o 1,5 veces la del rotor; esto permite que entre el estator y el rotor queden cavidades vacías que se aprovechan para el acarreo o transporte del fluido. Cuando el rotor gira dentro del estator, estas cavidades se desplazan continuamente del lado de la entrada al de la salida. Este tipo de bomba es capaz de mover líquidos con viscosidades altas y cumple cometidos de dosificación.

El sistema cuenta con dos bombas de este tipo para transportar el polímero floculante hacia la caja de entrada de los decantadores. Cada bomba está acoplada a un motor eléctrico de 0,75 Hp. 1 750 rpm. y 220 V. La bomba tiene capacidad para bombear un caudal de 2 m<sup>3</sup>/h, 8,8 gpm. Trabaja a una presión de 174 Psig.

Figura 16. **Bombas dosificadoras del polímero floculante**

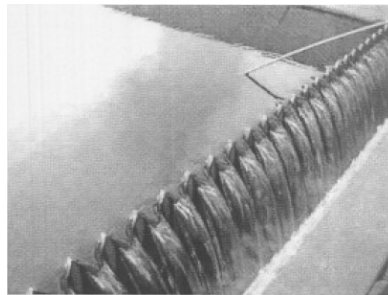


Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.9. Vertederos**

A través de los tornillos de ajuste de los vertederos se definen los niveles en todos los tanques, de manera que todos queden al mismo nivel y equilibrados en toda su extensión. En la figura 17, se puede observar el rebalse del agua limpia a través del vertedero.

Figura 17. **Vertedero de un decantador de lodos**



Fuente: Manual del STARI. Ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.10. Tanque para agua limpia**

El tanque para agua limpia es utilizado para almacenar el agua tratada proveniente de los decantadores, tiene una capacidad para 7 355 galones y está fabricado con láminas de acero inoxidable (ASTM A-36).

Se debe manejar a 3/4 de su capacidad máxima para mantener el nivel de operación; luego, esta agua acumulada es enviada de nuevo al proceso de lavado de los gases de combustión. En la figura 18 se logra observar el tanque con sus dos bombas centrífugas.

Figura 18. **Tanque para agua tratada**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.11. Bombas para agua limpia**

El sistema posee dos bombas centrífugas con capacidad de bombeo para 2 500 gpm., con una velocidad de operación de 1 785 rpm.

La bomba está acoplada a un motor de 125 Hp., 230/460 V. con una velocidad de 1 800 rpm., trabaja con una presión de 65 psig.

Estas bombas son especiales para el bombeo de agua, y se utilizan para transmitirle presión al agua limpia extraída de los decantadores para transportarla hacia los lavadores de gases.

Figura 19. **Bombas para agua limpia**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.12. Válvulas para lodos**

En el fondo de los decantadores se encuentran válvulas del tipo mariposa, que controlan la circulación del flujo por medio de un disco circular o medalla, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación.

Estas válvulas son recomendadas para servicio con apertura o cierre total, servicio con estrangulación, accionamiento frecuente, cuando se requiere corte positivo para gases y líquidos, cuando solo se permite un mínimo de fluido atrapado en la tubería, para baja caída de presión a través de la válvula. Entre sus aplicaciones se encuentran: las de servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión.

Están fabricadas de hierro fundido de CL 150, tipo *wafer*, con sello de Buna N, disco de acero inoxidable, accionamiento manual con reductor en el volante de diferentes diámetros.

Figura 20. **Válvula tipo mariposa para el fondo de los decantadores**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.2.13. Válvulas para agua de desbloqueo**

Estas son válvulas de tipo bola, tienen 1/4 de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto. Son recomendadas para servicio de conducción y corte, sin estrangulación; cuando se requiere apertura rápida, para temperaturas moderadas y cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.

Las válvulas para agua de desbloqueo se habilitan cuando ocurre un taponamiento en la tubería del fondo del decantador, con lo cual al abrir la válvula de bola, permite el paso de agua para desbloquear la tubería y remover el lodo hasta llevarlo al canal que se dirige hacia el tanque para lodos decantados.

Figura 21. **Válvula de tipo bola**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

#### **2.2.14. Filtro rotativo para lodos**

Es utilizado en la limpieza de los lavadores de gases de las calderas, pudiendo realizar doble función: el filtrado del agua con cenizas y el desagüe del lodo seco.

El filtro rotativo para lodos separa las cenizas no quemadas del circuito de agua del lavado de gases, reduciendo la humedad contenida en los lodos que viajan al campo.

Posee las mismas características constructivas de filtros para otras aplicaciones y una operación simplificada.

El filtro está construido totalmente en acero inoxidable con bajo consumo de energía e índices de mantenimiento, reduciendo el riesgo de paradas no programadas, aumentando así la confiabilidad del proceso.

Las ventajas principales del filtro rotativo son:

- Alto grado de eficiencia
- Bajo costo de mantenimiento
- Bajo consumo de energía
- Operación simplificada

El filtro rotativo tiene las siguientes características técnicas:

- Capacidad: 150 m<sup>3</sup>/h de lodos
- Velocidad: 5 rpm

Las principales dimensiones del filtro rotativo son:

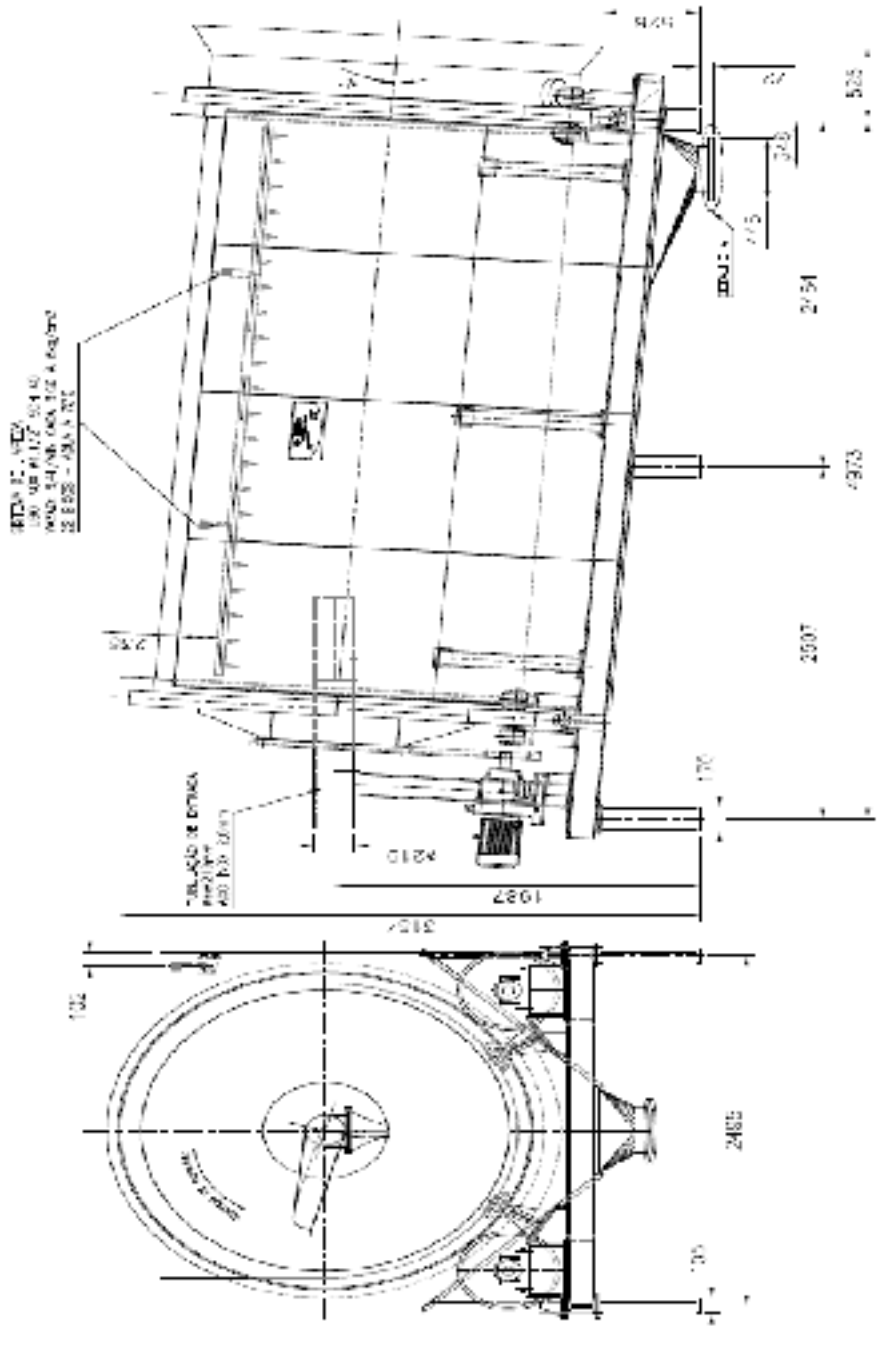
- Diámetro del tambor = 2,0 m
- Longitud del tambor = 4,0 m
- Cesto para filtro rotativo, construido en acero inoxidable AISI 304, con perfil "V", con abertura 0,25 mm en el módulo 1 y abertura 0,5 mm para los demás módulos.
- Anillo de entrada construido de acero al carbono, soldado y maquinado, con revestimiento epoxi interno.
- Anillo de salida construido de acero al carbono, soldado y maquinado, con revestimiento de acero inoxidable en el área de contacto con el lodo.



- Tubos de espaciamento de los anillos, construido en tubería SCH, reforzada con planchas de acero y angulares de acero inoxidable.
- Estructura de soporte construida con vigas I y láminas de acero al carbono, soldadas y perforadas.
- Serie de ruedas axiales de acero al carbono mecanizadas, eje de acero trefilado, montado en soporte de rodamientos de bolas, construido en lámina de acero al carbono.
- Conjunto de ruedas radiales construidas con láminas de acero al carbono, tubos soldados, con eje trefilado, cojinetes y rodamientos tipo SNH.
- Colector de lodo totalmente construido en lámina de acero inoxidable.
- Pintura de la estructura en esmalte sumalux azul 501 SHERWIN WILLIAMS.
- Algunos accesorios que incluye el filtro rotativo:
  - Conjunto de limpieza de tubo construido en acero inoxidable, serie de boquillas atomizadoras construidas de acero inoxidable.
  - Conjunto distribuidor de lodo, compuesto de tubos y caja de distribución totalmente construida de acero inoxidable AISI 304.

- Funcionamiento:
  - La unidad consta de un conjunto de motor-reductor, de diseño compacto con un motor eléctrico, grado de protección IP 55, IV polos 1 750 rpm, 220/380/440volts, 60 Hz, carcasa ABNT 132M, de forma constructiva B3, refrigerado por el ventilador y acoplado al reductor a través de la brida y un ajuste preciso.
  - La transmisión, reductor/tambor, es por medio de engranajes de la actual norma ASA.
  - Tiene unidad de protección
  - Las telas de acero inoxidable de ranuras continuas poseen tecnología internacional y llegan para agregar mayor calidad a los productos de la empresa, aumentando la eficiencia de los procesos. La asociación con la empresa Optima International Limited – UK oficializada en 2009, marcó el inicio del proceso de sustitución de las antiguas mallas de filtrado por telas de acero inoxidable, más modernas y durables.

Figura 22. Plano del filtro rotativo para lodos



Fuente: planos del STARI. Ingenio La Unión, S.A.

Figura 23. **Filtro rotativo para lodos**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

#### **2.2.15. Prensa hidráulica para lodos**

Los sólidos son introducidos en la tolva de carga, donde una plancha con una laminilla con orificios especiales permite la compactación y deshidratación del material transportado. El líquido filtrado se extrae a través de una tubería diseñada para tal efecto.

En la zona anterior al accionamiento del sistema de drenaje, formado por una rejilla especial que asegura el drenaje; debido a las características de uso y alimentación, el compactador puede funcionar de forma intermitente.

Luego de compactar y deshidratar los lodos, se transportan hacia una cámara de descarga, donde por gravedad caen hacia la tolva para lodos.

Figura 24. **Prensa hidráulica para lodos**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **2.3. Acciones de mantenimiento en época de reparación y zafra**

En esta sección se mencionan los equipos con mayor riesgo de sufrir una avería en operación, así también, los problemas operacionales más comunes con la posible solución, las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en tiempo de zafra y en reparación.

#### **2.3.1. Equipos con mayor criticidad de un paro en operación**

Existen ciertos equipos que por su diseño y operación presentan más desgaste, provocando así, paros al sistema de tratamiento de agua proveniente del lavado de los gases de las calderas; por lo tanto, se les debe prestar una atención especial.

Almacenar en bodega un *stock* mínimo con repuestos críticos es de gran utilidad, porque al momento de presentarse un paro en operación, no se pierde tiempo en adquirirlo.

A continuación se mencionan los repuestos críticos principales del sistema:

- Cojinetes de todas las bombas
- Impulsores de las bombas de agua sucia
- Válvulas de mariposa (sellos de hule) del fondo de los decantadores
- Válvulas de bola
- Estopa de las bombas de agua limpia
- Motores eléctricos
- Estator de las bombas dosificadoras
- *Sprocket* de conductores

### **2.3.2. Problemas operacionales y acciones correctivas**

A continuación se presentan algunos factores o ajustes del proceso que pueden ocasionar problemas operacionales y que deben ser prontamente corregidos o evitados.

#### **2.3.2.1. Deficiente clarificación del agua**

La mala clarificación del agua tratada puede ser debida a una adición insuficiente de polímero floculante causada por:

- Baja concentración de polímero en el medio, adición de cantidad insuficiente de polímero en el tanque para polímero floculante durante la

preparación, o mala homogeneización durante la preparación, causando la ocurrencia de muchos grumos no disueltos, se reduce así la cantidad de polímero disuelto en el medio.

- Floculante viejo, con el tiempo de preparación arriba de 24 horas.
- Problemas operacionales de la bomba para polímero floculante, tapones, paradas o flujo insuficiente.
- Problemas operacionales de la bomba de agua sucia.
- Problemas operacionales de la bomba para agua tratada, tapones, paradas o flujo insuficiente.

#### **2.3.2.2. Acumulación de sólidos en los decantadores**

El operador debe estar pendiente del nivel de sólidos en los decantadores, ajustando el flujo de lodos a través de las válvulas para lodos para evitar una acumulación que provoque una reducción del tiempo de retención para la decantación de estos, reduciéndose así la capacidad de tratamiento del sistema y favoreciendo la salida de pequeños flóculos de impureza más livianos junto al agua tratada.

#### **2.3.2.3. Atascamiento de las válvulas de fondo de los decantadores**

La acumulación de sólidos en los decantadores puede ocurrir por atascamiento de lodo en las válvulas para lodos, en caso de que ocurra, se

debe proceder a su destape a través del cambio de su apertura o de la inyección de agua de las válvulas para agua de desbloqueo, ubicadas en las salidas de fondo de los decantadores.

### **2.3.3. Actividades de mantenimiento preventivo actual en época de zafra**

Actualmente se realizan revisiones e inspecciones una vez por día y las ejecuta un mecánico de turno encargado; entre las inspecciones que realiza se encuentran las siguientes:

- Verificar si existen fugas de aceite en reductores, bombas y prensas, si el nivel de aceite es bajo, normal o alto.
- Verificar si existen fugas en el sistema de enfriamiento de las prensas, si el flujo es bajo o normal.
- Revisar el estado de limpieza del equipo, si se encuentra sucio o limpio.
- Revisar la temperatura de los cojinetes del filtro rotativo, de las bombas, los conductores y del equipo en general.
- Determinar el nivel de ruido en los equipos rotativos, si es normal o fuerte.
- Determinar el grado de vibración en el equipo rotativo, si es leve, normal o fuerte.
- Todas las condiciones anormales deben reportarse al jefe superior inmediato.



A continuación se mencionan los equipos en operación, de los cuales se inspeccionan los parámetros mencionados anteriormente:

- Filtro rotativo para lodos
- Sistema hidráulico del accionamiento de la compuerta de la tolva para lodos
- Sistema motor-reductor del conductor 1
- Sistema motor-reductor del conductor 2
- Bomba para agua tratada
- Bomba para agua con lodos
- Bomba para lodos decantados
- Compresor
- Conductores
- Agitadores

#### **2.3.4. Actividades de mantenimiento preventivo actual en época de reparación (no zafra)**

A continuación se presentan las acciones de mantenimiento preventivo que se realizan en temporada de no zafra (mantenimiento):

- Reemplazo de impulsores de las bombas de agua sucia
- Inspección de los impulsores de las bombas de lodos decantados
- Inspección de los impulsores de las bombas de agua limpia
- Evaluación del estado de los cojinetes de los equipos

- Reemplazo de cojinetes de los equipos
- Reemplazo de la tela filtrante de los conductores de lodos
- Rectificación de los ejes motrices y de cola de los conductores
- Sustitución de tablillas de los conductores
- Sustitución de cadena de arrastre de los conductores
- Cambio del sello de hule de las válvulas de entrada de lodos de los decantadores
- Sustitución de válvulas de fondo de los decantadores
- Verificación de las medidas de las ruedas de soporte del filtro rotativo

### **2.3.5. Actividades de mantenimiento correctivo actual**

Al presentarse un fallo en operación en alguna maquinaria o equipo, el ingeniero de mantenimiento mecánico del proceso de generación de energía realiza una orden de servicio indicando el equipo que falló, la prioridad de la reparación, la descripción de las tareas de mantenimiento correctivo, y asigna a los ejecutores del servicio, la fecha y hora de inicio de la reparación.

Luego de realizar la reparación dejando el equipo disponible para prestar su respectivo servicio, el mecánico registra la fecha y hora de finalización de las tareas de mantenimiento, incluye información complementaria como los materiales que se utilizaron para llevarlas a cabo.

Luego el supervisor responsable, firma de visto bueno; posteriormente, el ingeniero de mantenimiento mecánico firma también con su visto bueno y se cierra la orden de servicio.

## **2.4. Análisis de eficiencia del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases**

En esta sección se presenta un procedimiento para el cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases.

### **2.4.1. Eficiencia del sistema**

Para determinar la eficiencia del sistema se utilizarán los datos obtenidos de los análisis de las muestras tomadas en cuatro puntos diferentes en el STARI, los cuales son: en la entrada principal del flujo de agua con ceniza, en la salida del agua limpia por los vertederos de un decantador, en el ducto que traslada la descarga de lodos del fondo de los decantadores hacia el tanque de lodos y a la salida del agua filtrada por el colador rotativo.

Figura 25. **Toma de muestra en la línea de entrada del STARI**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Figura 26. **Toma de muestra en vertedero de decantador**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Figura 27. **Toma de muestra en la salida del filtro rotativo**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla IX. **Resultados de la entrada del flujo de lodos al STARI**

Muestra	Temperatura °C	Turbiedad UTN	Conductividad eléctrica micromhos/cm	Sólidos totales
1	25,0	1 460	3,76	18 269
2	24,0	1 600	3,65	1 600
3	23,8	2 240	3,69	16 831
4	24,2	18 000	3,59	18 760
5	24,7	1 753	3,59	16 008

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados de la descarga en el vertedero del decantador del STARI**

Muestra	Temperatura °C	Turbiedad UTN	Conductividad eléctrica micromhos/cm	Sólidos totales
1	25,1	29	3,72	3 307
2	24,2	46	3,46	3 050
3	23,9	39	3,65	5 646
4	24,7	72	3,49	3 551
5	24,4	53	3,40	1 977

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la eficiencia del proceso de decantación de lodos se utilizarán los valores de los sólidos totales de las cinco muestras tomadas en la entrada al sistema y en la salida de agua limpia en el vertedero del decantador.

$$e = \left( 1 - \frac{\text{Valores vertedero}}{\text{Valores línea principal}} \right) * 100$$

El siguiente dato es para calcular la eficiencia de la muestra número 1:

$$= \left( 1 - \frac{3,307}{18,269} \right) * 100 = 81,9\%$$

Tabla XI. **Resumen para el cálculo de la eficiencia del STARI**

Muestra	Sólidos totales (entrada)	Sólidos totales (salida)	Eficiencia
1	18 269	3 307	81,9%
2	1 600	3 050	80,9%
3	16 831	5 646	66,5%
4	18 760	3 551	81,0%
5	16 008	1 977	87,7%

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un promedio de las eficiencias obtenidas en las 5 muestras:

$$\bar{e} = \frac{\sum \text{Eficiencias}}{\text{No. de muestras}} = \frac{398}{5} = 79,6$$

$$\bar{e} = 79,6\%$$

La eficiencia promedio del proceso de decantación del agua con ceniza es del 79,6%.

Tabla XII. **Resultados de la descarga de fondo del decantador**

Muestra	Temperatura °C	Turbiedad UTN	Conductividad eléctrica micromhos/cm	Sólidos totales
1	25,0	3 640	3,72	13 209
2	24,4	8 600	4,33	48 241
3	23,9	5 700	4,13	104 898
4	24,4	6 400	4,05	73 250
5	24,4	4 980	4,10	190 260

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resultados de la salida del filtro rotativo**

Muestra	Temperatura °C	Turbiedad UTN	Conductividad eléctrica micromhos/cm	Sólidos totales
1	24,8	1 750	3,55	7 743
2	24,2	7 300	3,20	27 680
3	24,1	1 727	3,52	65 276
4	24,5	4 900	3,21	18 856
5	24,6	4 250	3,44	32 228

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la eficiencia del filtro rotativo de lodos, se utilizarán los valores de los sólidos totales de las cinco muestras tomadas en la descarga en el fondo del decantador y en la salida del filtro rotativo.



El siguiente dato es para calcular la eficiencia de la muestra número 1:

$$e = \left( \frac{\text{Valores salida filtro rotativo}}{\text{Valores fondo decantador}} \right) * 100 = \frac{7\,743}{13\,209} * 100 = 58,6\%$$

Tabla XIV. **Resumen para el cálculo de la eficiencia del filtro rotativo**

Muestra	Sólidos totales (entrada)	Sólidos totales (salida)	Eficiencia
1	13 209	7 743	58,6%
2	48 241	27 680	57,3%
3	104 898	65 276	62,2%
4	73 250	18 856	25,7%
5	190 260	32 228	16,9%

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un promedio de las eficiencias obtenidas en las 5 muestras:

$$\bar{e} = \frac{\sum \text{Eficiencias}}{\text{No. de muestras}} = \frac{220,7}{5} = 44,1\%$$

$$e = 44,1\%$$

La eficiencia promedio del filtro rotativo es del 44,1%.

## 2.5. Impacto y beneficios ambientales

A continuación se presentan los beneficios ambientales al mantener el STARI operando continuamente, como por ejemplo, el ahorro del consumo del agua y la reducción de contaminantes a la atmósfera.

### 2.5.1. Análisis de lodos

La siguiente tabla muestra los compuestos químicos que tiene el lodo con cenizas de bagazo de caña que llega al STARI.

Tabla XV. **Composición química de las cenizas del bagazo de caña (Erwin, 1983)**

Compuestos	%
SiO <sub>2</sub>	56,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,15
CaO+MgO	9,08
Na <sub>2</sub> +K <sub>2</sub> O	12,6

Fuente: SILVA, Electo. Combustión y calderas. p. 10.

### 2.5.2. Calidad de aire en la industria azucarera

Entre las formas de contaminantes del aire que resultan problemáticas en la industria del azúcar se encuentran las siguientes:

- Ceniza volante: es el nombre aplicado a las partículas de ceniza arrastradas por los gases de combustión y transportadas por el aire. Las fuentes de estas partículas en la industria azucarera son: la quema de

desperdicios al aire libre, los incineradores de desechos sólidos y el uso del bagazo como combustible en las calderas de vapor.

- Niebla: se trata de un aerosol de pequeñas gotas de líquido que se forma cerca del suelo. En el caso de la industria azucarera, la niebla puede ser el resultado de la contaminación térmica en conexión con el enfriamiento por rocío. En las instalaciones del sistema de tratamiento de agua del lavado de los gases, por momentos se presenta una niebla emitida por el agua con lodos que llega caliente al tanque de agua sucia y esto obstaculiza la visibilidad en los pasillos cercanos.
- Humo: este se forma por las partículas de hollín o carbón con un diámetro a menudo menor de 0,1  $\mu\text{m}$  como resultado de la combustión incompleta de los combustibles carbonosos. El humo constituye el mayor problema de la contaminación del aire en la industria azucarera.
- Particulados: estos se originan de la desecación y manejo del azúcar granulado y del manejo y regeneración del carbón animal o carbón activado.

### **2.5.3. Consumo de agua**

Para estimar el flujo de agua necesaria para el sistema de tratamiento de agua del lavado de los gases de las calderas, se consideran las capacidades de producción de vapor de las calderas:

- 1 caldera con capacidad de 180 000 Lb/h (libras de vapor por hora)
- 3 calderas con capacidad de 150 000 Lb/h (libras de vapor por hora)
- 1 caldera con capacidad de 250 000 Lb/h (libras de vapor por hora)

El total de vapor generado: 880 000 Lb/hr = 400 Ton/h (toneladas de vapor por hora)

Total de agua necesaria = 400 Ton/h \* 2,2 m<sup>3</sup>/Ton/h = 880 m<sup>3</sup>/h = 3 785 gpm

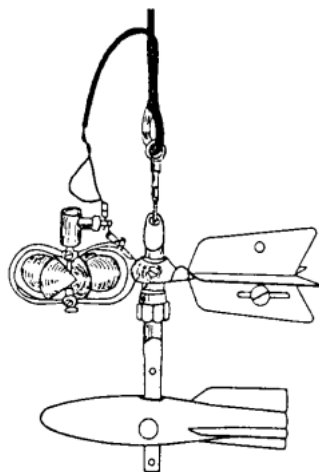
#### 2.5.4. Agua de reposición

El agua de reposición es la que se agrega al STARI para mantener en equilibrio la razón de entrada y salida del flujo al sistema.

Se calculó el caudal de entrada al STARI midiendo la velocidad del flujo mediante un molinete del tipo taza cónica que gira sobre un eje vertical; la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente.

Se contó el número de revoluciones en un minuto, basándose a que por cada cinco revoluciones del molinete se activa una alarma.

Figura 28. Molinete tipo taza



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>. Consulta: 20 de enero de 2012.

Las mediciones se tomaron en una sección del ducto abierto a la entrada del sistema; el ducto en este punto tiene una sección de 10-3/4" de ancho por una profundidad en ése momento de 17". En un minuto se escucharon 22 sonidos.

El área útil se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Área} = (10\frac{3}{4}) (17") = 182,75 \text{ pulg}^2 * \frac{(2,54 \text{ cm})^2}{(1 \text{ pulg})^2} * \frac{(1 \text{ m})^2}{(100 \text{ cm})^2} = 0,1179 \text{ m}^2$$

Se tiene que: 22 sonidos/min \* 5 rev/sonido \* 1 min/60seg = 1,83 rev/seg

Con el valor anterior se obtiene la velocidad del flujo:

$$\left( 1,83 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} * 0,697 \right) + 0,013 = 1,29 \text{ m/seg}$$

El caudal es la velocidad del flujo por la sección en donde viaja, en el cual obtenemos lo siguiente:

$$Q = V * A = \left( \frac{1,29 \text{ m}}{\text{s}} \right) (0,1179 \text{ m}^2) = 0,1519 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{151,91 \text{ L}}{\text{seg}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 2 408,17 \text{ gpm}$$

Las bombas de agua limpia tienen la capacidad para bombear hasta 2 500 gal/min; por lo tanto, se necesitan aproximadamente 100 galones de agua por minuto para satisfacer la demanda de equilibrio del sistema.

### **2.5.5. Beneficios obtenidos**

El ingenio, cumpliendo con su responsabilidad social, ha buscado implementar tecnología que ayude a contrarrestar la contaminación ambiental; por ejemplo, en el área del proceso de generación de energía, se han instalado lavadores de gases de las calderas; estos capturan y evitan que el hollín, partículas de ceniza y bagazo no quemado, se descarguen a la atmósfera.

Por otro lado, con el STARI se está reduciendo el consumo de agua al separarla de los lodos con ceniza y partículas no quemadas, permitiendo así reutilizarla en los lavadores de gases.

También se está aprovechando el material seco extraído del STARI; este residuo lo trasladan camiones hacia los campos cañeros, para utilizarlo como abono y acondicionador del suelo; anteriormente se descargaba en los ríos cercanos.

Además, los ventiladores inducidos que extraen los gases de la caldera, resultan beneficiados al reducir el desgaste por abrasión, permitiendo así alcanzar la vida útil establecida por el fabricante de estos equipos y menores costos de mantenimiento.

### **3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

En esta fase, con la colaboración del departamento de seguridad industrial de la empresa, se realizó una capacitación a los operarios del STARI, acerca de la seguridad industrial en el área de trabajo, mencionándoles la importancia de utilizar el equipo de protección personal, algunas condiciones inseguras observadas en el sistema, así como acciones inseguras efectuadas por los operarios durante el proceso. También se les entregó un manual donde incluyen las normas de seguridad en la planta, así como una copia de la fase técnico-profesional de este documento, donde se detallan las características principales de los equipos y el proceso de clarificación de las aguas extraídas del lavado de los gases.

#### **3.1. Análisis de riesgos en ingenio La Unión, S.A.**

En esta sección se mencionan los distintos tipos de riesgo identificados en el STARI; también se presenta un análisis de riesgo en esta área, se detallan algunas condiciones y acciones inseguras observadas, así también las normas y medidas de seguridad y el equipo de seguridad obligatorio del personal.

##### **3.1.1. Definición de riesgo**

Los riesgos se definen como el efecto supuesto de un peligro no controlado, considerado en términos de probabilidad de qué sucederá, la severidad máxima de cualquier lesión o daño, y la sensibilidad de la persona ante tal incidencia.

Los riesgos de accidentes y enfermedades de trabajo son las probabilidades de que exista un daño considerable en el lugar de trabajo, es necesario estudiar las causas, efectos, actitudes y condiciones, que se tiene a los mismos, para ello se deben estudiar los riesgos presentes en el lugar de trabajo.

### **3.1.2. Tipos de riesgo en el área del sistema de tratamiento de agua del lavado de gases**

A continuación se definen los tipos de riesgo identificados en el STARI.

#### **3.1.2.1. Riesgos físicos**

Estos riesgos se localizan en el lugar de trabajo, son comunes a las actividades que se realizan y son causantes de los riesgos físicos, tales como: el ruido, la alta presión, la ventilación insuficiente, las vibraciones sensibles, la iluminación deficiente, las altas temperaturas y las radiaciones. Los riesgos físicos también son aquellos que pueden alterar la salud mental, emocional y física del trabajador.

#### **3.1.2.2. Riesgos químicos**

Los agentes químicos son muy variados, han adquirido gran peligrosidad debido a combinaciones de sustancias inorgánicas utilizadas en las actividades de trabajo, entre ellos están: nieblas, gases, sustancias químicas, polvos y humos, que pueden afectar directamente la salud del trabajador.



### **3.1.2.3. Riesgos biológicos**

Son microorganismos u otros seres vivos que pueden producir enfermedades infecciosas a los trabajadores como resultado del contacto con estos parásitos.

### **3.1.2.4. Riesgos eléctricos**

Las líneas eléctricas aéreas y subterráneas en el lugar de trabajo son particularmente peligrosas por su alto voltaje. La electrocución es el riesgo principal, pero caídas desde alturas considerables y quemaduras de piel también representan un riesgo.

Por lo anterior, el uso de herramientas y equipo que pueden entrar en contacto con líneas de energía eléctrica aumenta el riesgo eléctrico.

### **3.1.2.5. Análisis de riesgos**

La elaboración del análisis de riesgos dentro del sistema de tratamiento de agua extraída de los lavadores de gases se realizó mediante la observación de las instalaciones y entrevistas con los operarios e ingenieros responsables de este sistema.

En la tabla XIV se presentan los riesgos identificados dentro de esta área.

Tabla XVI. **Riesgos identificados en el STARI**

<b>Factor de riesgo</b>	<b>Riesgo</b>
Orden y limpieza	Caídas Choques Incendios
Equipo de protección personal	Exposición a contactos térmicos Golpes por objetos o herramientas, cortes o amputaciones
Uso de calzado inadecuado	Caídas
Trabajos de pie durante largo período	Sobreesfuerzos musculares
Pasillos resbaladizos por derrame de líquidos	Caídas
Superficies de maquinaria calientes	Quemaduras
Maquinaria con elementos móviles rotativos	Golpes, cortes o amputaciones

Fuente: elaboración propia.

### **3.1.2.6. Condiciones inseguras observadas**

Las siguientes condiciones inseguras fueron observadas en el sistema de tratamiento de agua que proviene del lavado de gases de calderas:

- No hay pasamanos en algunas de las escaleras
- No existe señalización general de seguridad ni específica de riesgos
- Intermitentemente se presentan ruidos mayores de 100 dB
- Hay gran cantidad de polvo (bagacillo) en el ambiente

- Hay vapores con olor desagradable proveniente del tanque de agua sucia, en áreas cercanas al conductor 1
- Lodos en el piso
- Pisos deficientes
- Áreas expuestas al medio ambiente
- Equipo hidráulico de alta presión

Figura 29. **Áreas de riesgo del STARI**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### **3.1.2.7. Actos inseguros**

Los actos inseguros, al igual que el análisis de riesgos y las condiciones inseguras, se determinaron por medio de entrevistas a ingenieros y operarios, y observaciones realizadas al procedimiento de la operación. A continuación se detallan los actos inseguros detectados:

- Uso o utilización no autorizada de maquinaria y equipo
- Usar herramientas o equipos defectuosos
- Utilizar herramientas o equipos sin antes leer el manual de instrucciones

- Permanecer en un lugar inseguro o asumir una postura insegura
- Reparar equipos en funcionamiento
- Participar en bromas que distraigan, asusten o molesten
- No utilizar el equipo de protección personal, tal como el casco de seguridad
- Dejar objetos tirados sobre el suelo

### **3.1.3. Normas y medidas de seguridad**

Las normas generales de seguridad en la planta industrial son un conjunto de medidas destinadas a velar por la salud y seguridad de todos los colaboradores. El elemento clave es “la actitud responsable y concientización de todos”.

A continuación se dan a conocer las normas generales que se tienen en la planta:

#### **3.1.3.1. De ingreso y locomoción**

Dentro de la planta industrial es obligatorio:

- Usar adecuadamente el casco de protección personal
- Usar el uniforme proporcionado por el ingenio
- Usar la camisa fajada (metida) dentro del pantalón
- Utilizar los pasos peatonales establecidos
- Estacionarse de retroceso y únicamente en los parqueos asignados
- Respetar y cumplir con la señalización vial y de seguridad establecida
- Dar prioridad al paso de peatones
- Conducir a la velocidad máxima permitida de 20 Km/h

- Guardar las precauciones necesarias durante el movimiento de maquinaria pesada

Está prohibido:

- Ingresar en estado de ebriedad o bajo influencia de narcóticos
- Consumir o introducir bebidas alcohólicas

### **3.1.3.2. En el lugar de trabajo**

- Utilizar adecuadamente el equipo de protección personal de acuerdo al puesto de trabajo
- Mantener el orden y la limpieza
- Identificar y respetar la señalización de seguridad
- No sobrecargar las bases de tomacorriente
- Asegurarse de apagar todos los aparatos eléctricos al terminar la jornada de trabajo
- No fumar
- Consumir alimentos únicamente en los lugares autorizados

### **3.1.3.3. Ayudar a prevenir accidentes**

- Usar el amés para todo trabajo de altura a más de 1,80 metros sobre el nivel del suelo
- No colocar objetos frente a los extintores

- Señalizar con cinta o conos de tráfico si se va a realizar trabajos de corte, soldadura o cualquier otro tipo de trabajo que lo requiera
- Utilizar los pulsadores de parada de emergencia sólo si es necesario
- No viajar en los estribos de ningún tipo de vehículo
- No obstaculizar los servicios de emergencia: clínica médica, tomas de hidrantes, monitores de espuma y estaciones de contingencia
- Reportar a su jefe superior inmediato cualquier condición o acción insegura
- No utilizar audífonos en horas laborales

#### **3.1.3.4. En caso de emergencia**

- Mantener la calma; lo importante es ponerse a salvo y dar aviso a los demás.
- Avisar inmediatamente al supervisor y a seguridad industrial informando el lugar y las características de la emergencia.
- Si la emergencia es por accidente, comunicarse inmediatamente a la clínica médica.
- Si se conocen los procedimientos, brindar los primeros auxilios.

- Al presentarse el personal de salud ocupacional, ellos serán los encargados de dar el seguimiento y tomar decisiones sobre la misma.
- Si la emergencia es por un conato de incendio y la persona sabe utilizar el extintor, que lo use. Si hay riesgo contra las vidas no se debe arriesgar y avisar inmediatamente al supervisor.
- El supervisor solicitará apoyo de los tanques de cisterna y de ser necesario, del sistema fijo contra incendio.
- Evacuar el área por la ruta señalizada. Si se puede, apagar los equipos eléctricos.
- No correr, simplemente caminar rápido.
- Si se sale del lugar afectado, por ninguna razón volver a entrar.
- No llevar ningún objeto, puede entorpecer su salida.
- Colaborar en la medida de lo posible con los expertos.
- Posterior a la emergencia, el jefe o supervisor deberá brindar información a seguridad industrial para su evaluación e informe, donde se determinarán las causas y se elaborarán las propuestas para evitar futuras repeticiones.

### **3.1.3.5. Sanciones**

En caso de incumplir en alguno de los puntos descritos anteriormente, los ingenieros, supervisores y encargados tomarán las medidas disciplinarias en el siguiente orden:

- Llamada de atención verbal;
- Llamada de atención verbal y escrita por el departamento de seguridad industrial con copia a expediente y dueño de proceso;
- Segunda llamada de atención escrita, copia al expediente y suspensión de dos días sin goce de salario;
- Despido por incumplir normas de la empresa.

### **3.1.4. Equipo de protección personal**

El equipo de protección personal que los operarios del sistema de tratamiento de agua proveniente del lavado de los gases de calderas deben utilizar, es el siguiente:

- Uniforme (camisa, pantalón)
- Casco de seguridad
- Mascarilla
- Protectores auditivos
- Lentes
- Zapatos industriales
- Guantes



Figura 30. **Uniforme obligatorio en la planta industrial**



Fuente: ingenio La Unión, S.A. Normativo de seguridad industrial.



## **4. PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL LAVADO DE GASES**

### **4.1. Mejoras a la operación**

A continuación se presentan propuestas para mejorar la operación del STARI, y así asegurar una operación continua.

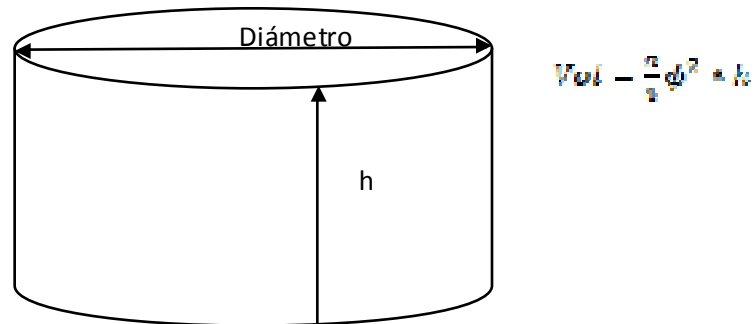
#### **4.1.1. Tanque de lodos decantados de mayor tamaño**

En operación se ha observado que al momento de dejar un decantador para limpieza, se abre la válvula de fondo de este para desalojar el lodo y también la válvula de admisión del decantador que se encuentre vacío; por lo tanto, se envía un mayor flujo al tanque para lodos decantados. Las bombas envían el flujo hacia el filtro rotativo, pero este no es capaz de filtrar todo el caudal que está ingresando en ese momento. Esto provoca derrames de lodo en el conductor 2, que contaminan las áreas de trabajo cercanas. La capacidad actual del tanque de lodos es de 3 600 galones.

La propuesta consiste en instalar un tanque de mayor capacidad para recibir los lodos decantados, para que los cambios de nivel en el tanque no sean repentinos y los motores de las bombas no se sobrecarguen.

Se propone instalar un tanque con capacidad de 6 000 galones, para almacenar mayor cantidad de lodos decantados y que el diferencial de nivel no oscile rápidamente.

Figura 31. Tanque de lodos decantados



Fuente: elaboración propia.

Por medio del volumen, se puede calcular las dimensiones del tanque, siguiendo con la misma altura del tanque actual de 74 pulgadas, y una capacidad para 6 000 galones. Con la siguiente fórmula se encuentra el diámetro del tanque:

$$Vol = \frac{\pi}{4} \phi^2 \cdot h$$

$$1\,386\,000 \text{ pulg}^3 = \frac{\pi}{4} \phi^2 (74 \text{ pulg})$$

$$\phi = \sqrt{\frac{1\,386\,000 \cdot 4}{74\pi}}$$

$$\phi = 154 \text{ pulgadas}$$

Las dimensiones para un tanque con capacidad de 6 000 galones son las siguientes: diámetro de 154 pulgadas de diámetro y 74 pulgadas de altura.

#### **4.1.2. Traslado del sistema hidráulico de la válvula de la tolva**

Observando la operación del sistema, se determinó que existe una demora al momento de la descarga de lodos desde la tolva hacia los camiones que lo trasladan a los campos cañeros.

Desde el momento que el camión se coloca debajo de la tolva, el operador necesita activar el motor de la bomba hidráulica que permite la apertura y cierre de la compuerta de la válvula de descarga. Para ello, el operador tiene que trasladarse al panel de control que se ubica en el segundo nivel y luego volver al primer nivel para maniobrar la palanca, para la apertura y cierre de la válvula; también tiene que subirse a una grada para poder verificar el nivel de lodo en el camión.

Por lo tanto, se determinó trasladar el sistema hidráulico de la tolva para el segundo nivel; en este lugar se logra observar fácilmente el nivel de lodo en los camiones al momento de maniobrar la palanca de apertura y cierre de la válvula de descarga de lodos. Esto permitirá una operación más fluida, ahorrándose el tiempo de traslado del panel de control a la bomba hidráulica.

Figura 32. **Antigua instalación del sistema hidráulico de la válvula de la tolva**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Figura 33. **Sistema hidráulico de la válvula de la tolva**



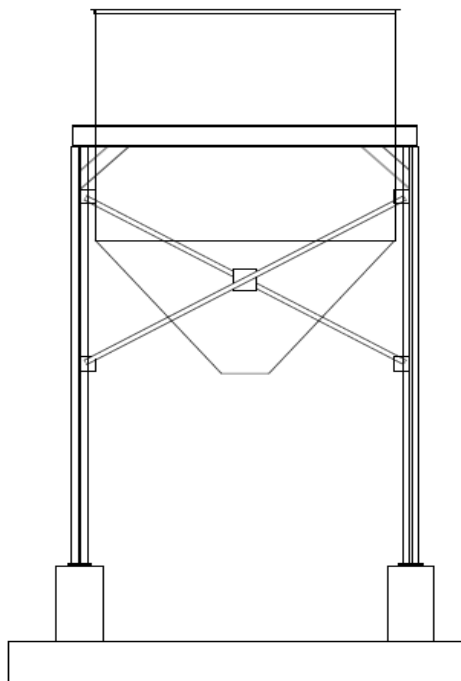
Fuente: ingenio La Unión, S.A.

### 4.1.3. Modificación a la tolva

Durante el procedimiento para descarga de lodos a los camiones, se identificó cierto comportamiento del flujo, en el que se observa por momentos que cae cierta cantidad de lodos de manera gradual y posteriormente cae un flujo mayor; esto se debe a que la tolva posee en la descarga una parte cúbica que por la forma, se va estancando y luego se destapa repentinamente, provocando derrames de lodo fuera de los camiones.

La propuesta consiste en eliminar el cubo que está en el fondo de la tolva, dejando la forma de un cono truncado con secciones circulares, lo cual permitirá que el flujo se deslice y caiga fácilmente a los camiones.

Figura 34. Tolva modificada



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.4. Cambio de tela filtrante del conductor 1

Tradicionalmente, en el conductor 1 se han utilizado telas filtrantes de 1/16" de espesor como se muestra en la figura 35; esto ha provocado que con el paso de las tablillas, arrastrando el lodo sobre la lámina, esta se desgaste en corto tiempo, impidiendo la continuidad de la operación.

Figura 35. **Tela filtrante del conductor 1**

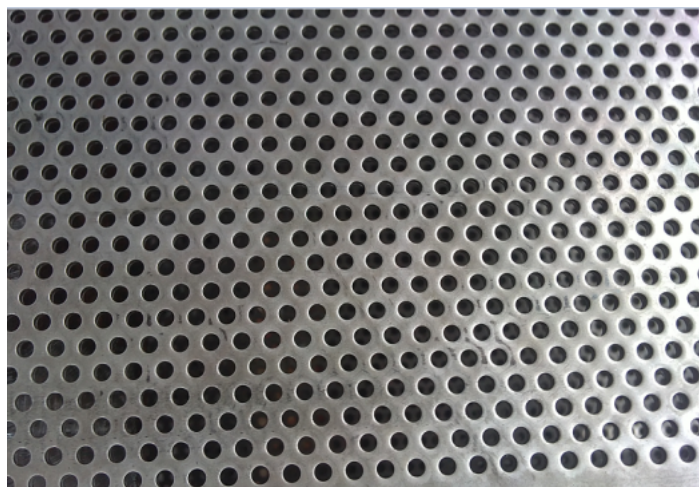


Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Por lo tanto, se propone utilizar una lámina de acero inoxidable 304 de 1/8" de espesor, con un *mesh* de 5, con 5 agujeros por pulgada lineal, como se muestra en la figura 36; con ello se espera que se reduzcan los paros por deterioro de la lámina filtrante.



Figura 36. **Tela filtrante propuesta**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

#### **4.1.5. Instalación de un semáforo indicador**

Se propone implementar un semáforo en el área de recepción de material extraído de la tolva por los camiones, esto ayudaría a agilizar el proceso de descarga de lodos.

Al momento que los camiones ingresen al punto debajo de la tolva, el semáforo indicaría color rojo, para que el piloto del camión detenga la marcha. Por el contrario, cuando el camión esté cargado de lodo, el semáforo indicaría color verde, para continuar la marcha hacia los campos cañeros.

El encargado de activar el semáforo sería el operador del STARI y el *switch* de control estaría ubicado al lado de la palanca de apertura y cierre de la válvula de la tolva.

Figura 37. **Semáforo propuesto**



Fuente: <http://www.m-y-o-matitautomatismos.com/semaforo-rojo-verde-p-77.html>. Consulta: 28 de marzo de 2012.

#### **4.1.6. Traslado de prensa hidráulica para lodos**

Durante la operación, se observa que los lodos que transporta el conductor 2 se van depositando en el ducto que alimenta la prensa hidráulica, pero al llenar el espacio disponible en este, el lodo sigue avanzando por el conductor y cae libremente a la tolva, aún húmedo.

Por tal motivo, se ha colocado la prensa hidráulica 1, justo debajo de la salida del filtro rotativo para una admisión continua de lodos. A la salida del filtro rotativo se instalaron dos caídas de lodo, una para la alimentación de la prensa y por último una compuerta para habilitarla cuando ocurra algún paro en la prensa hidráulica 1 y así el lodo caiga al conductor y lo deposite en la prensa hidráulica 2.

Con todo lo anterior, se logra que los lodos provenientes del conductor 2 viajen exclusivamente hacia la prensa hidráulica 2, y los lodos extraídos del filtro rotativo caigan a la prensa hidráulica 1.

#### **4.1.7. Sustitución de la transmisión de las bombas para lodos decantados**

Anteriormente, las bombas de lodos decantados se accionaban por medio de fajas conectadas a motores eléctricos y en ciertas ocasiones la faja se mojaba y se perdía el contacto de la faja con la polea, la faja se deslizaba en la polea, desgastándose fácilmente, sin transmitirle potencia al eje de la bomba, provocando un disparo del sistema. Para la siguiente zafra se pensó cambiar de transmisión por fajas a transmisión por medio de acoples de rejilla permitiendo una transmisión directa entre el motor y la bomba. Con esto se ahorraría el gasto de cambiar fajas cada año.

Figura 38. **Bombas de lodos decantados**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

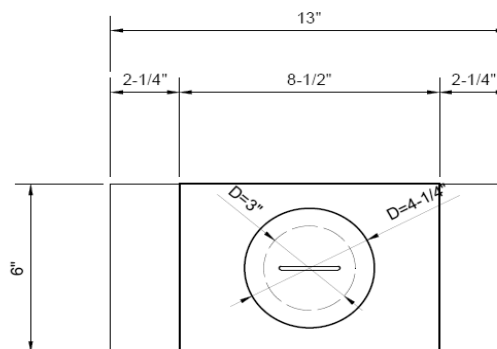
#### 4.1.8. Propuesta de protectores de chumaceras de los rodos de soporte del filtro rotativo

En operación se presentó un paro por el atascamiento de dos chumaceras de los rodos de soporte del filtro rotativo, debido a que el lodo se introdujo en las chumaceras y este contaminó la grasa de los cojinetes, provocando el desajuste del eje del rodo y las chumaceras.

Se visitó el filtro rotativo del área de molinos del tándem B del ingenio y se identificó que las chumaceras de los rodos de soporte del mismo, poseen un protector que evita que lodos o polvo se depositen sobre la chumacera contaminándola.

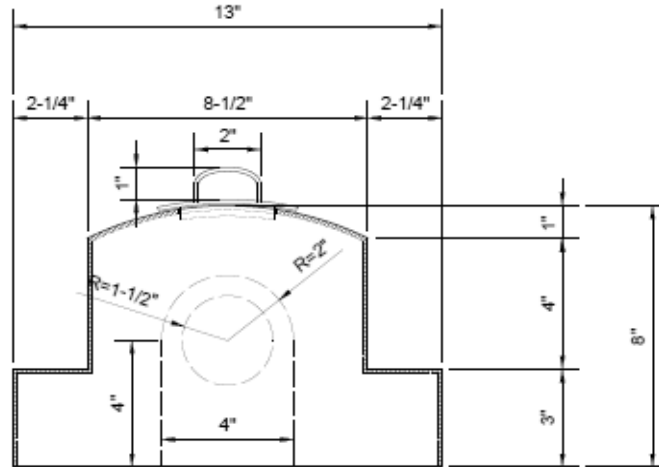
Se tomó como modelo estos protectores para chumaceras y se propone colocarlos en las del filtro rotativo del STARI. Estos protectores pueden fabricarse con lámina de hierro negro. En la imagen se muestra el modelo del protector de las chumaceras SNH.

Figura 39. Vista en planta del protector de chumaceras



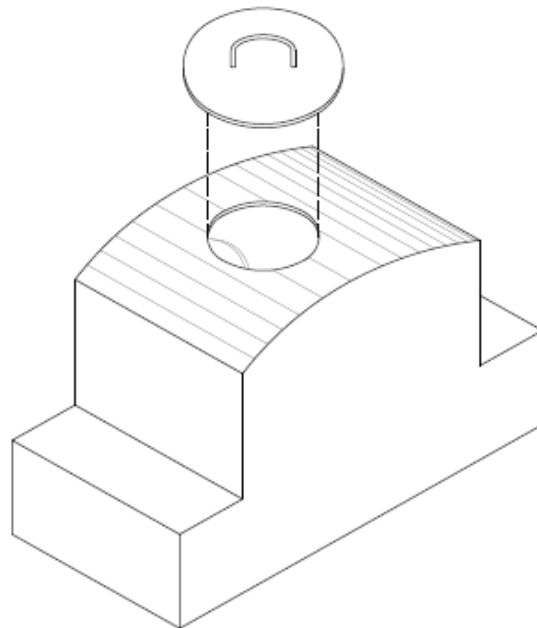
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Vista lateral del protector de chumaceras**



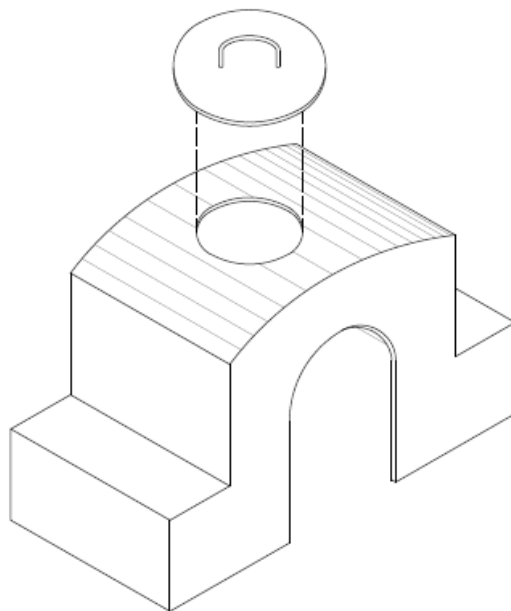
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Vista isométrica del protector de chumaceras lado posterior**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Vista isométrica del protector de chumaceras lado frontal**



Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Mejoras al mantenimiento**

En esta sección se mencionan propuestas de mejora al mantenimiento del equipo, para asegurar la continuidad del proceso.

### **4.2.1. Aplicación de resina antiabrasiva a las medallas de las válvulas de fondo de los decantadores**

El paso del lodo decantado por las válvulas de fondo de los decantadores, provoca deformaciones por abrasión en la medalla y el asiento de elastómero, las partículas de ceniza erosionan la superficie de los mismos, por lo tanto, durante la operación se han tenido que cambiar las válvulas.

Se propone aplicar una resina antiabrasiva a la superficie de las medallas de las válvulas, para protegerlas del desgaste provocado por la abrasión y así alcanzar la vida útil establecida por el fabricante.

Figura 43. **Medallas protegidas con resina anti-abrasiva**



Fuente: ingenio La Unión, S.A.

Entre los productos que se utilizan como protectores están:


- Nordbak - compuestos contra el desgaste: productos formulados para la máxima protección y el soporte óptimo de los recubrimientos de desgaste, estos productos son líderes de la industria con un desempeño comprobado.
- Nordbak® Pneu-Wear: contiene pequeñas cuentas de cerámica y carburo de silicón, para obtener una máxima protección contra la abrasión de finas partículas; no escurre hasta 121°C. Es resanable.

- Nordbak® cerámica aplicable con brocha: su aplicación forma un recubrimiento suave resistente a la corrosión. Protege contra turbulencia, abrasión y cavitación. Resiste temperaturas de hasta 93°C.

#### 4.2.2. Rutina de inspección del equipo

A continuación se presenta una propuesta del formato a utilizar para realizar una nueva rutina de inspección del equipo industrial, donde el mecánico colocará todos los registros cada dos horas.

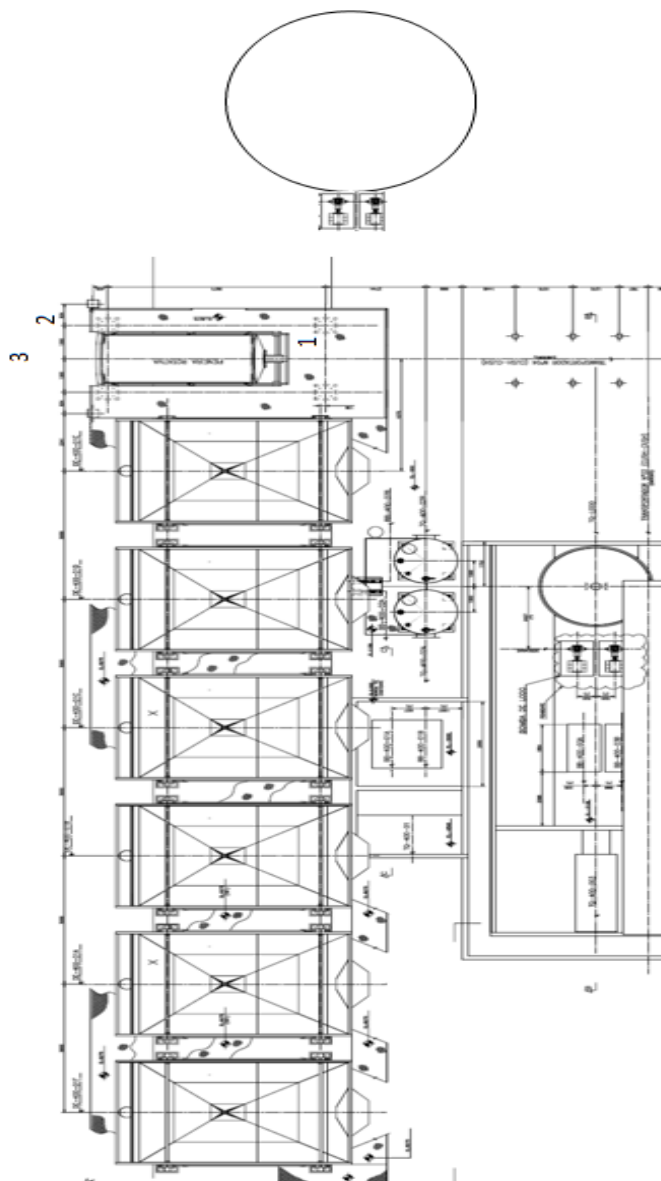
Figura 44. Nuevo formato de rutina de inspección del equipo

		Rutina de inspección de mantenimiento													
		Sistema de tratamiento de agua del lavado de gases													
		Edición 01						20 de mayo 2011							
Sitio de inspección	Aceite			Enfriamiento		Limpieza		Temperatura		Ruidos		Vibración		Corrección tomada	
	nivel			fugas	flujo	sucio	limpio	equipos	cojinetes	fuerte	normal	leve	normal		fuerte
	bajo	normal	alto	bajo	normal										
<b>CLARIFICADOR DE CENIZA</b>															
Filtro rotativo															
Prensa 1															
Prensa 2															
Conductor 1															
Conductor 2															
Agitador Lodos															
Hidráulico tolva															
Agitador Floc															
Bomba limpia 1															
Bomba limpia 2															
Bomba floc 1															
Bomba floc 2															
Bomba lodo 1															
Bomba lodo 2															
Compresor 1															
Bomba sucia 1															
Bomba sucia 2															
Agitador Sucia															
Mecánico que realizó la inspección								<b>Supervisor</b>							
Hora de la inspección								<b>Vo.Bo.</b>							
Fecha de la inspección															
		d	d	m	m	a	a								
Observaciones:															

Fuente: elaboración propia.



Figura 45. Vista en planta del STARI



Fuente: ingenio La Unión, S.A.



#### **4.2.3. Nuevo recorrido para la rutina de inspección**

Basándose en el nuevo formato de la rutina de inspección del equipo del STARI, se propone que el operador realice un recorrido por las instalaciones de este, comenzando por el filtro rotativo (1), inspeccionando que las chumaceras de los rodos de soporte estén limpias, así como la lubricación de la cadena del filtro; posteriormente, el operario se trasladaría a la ubicación de las prensas hidráulicas (2), para revisar que todas sus mangueras de enfriamiento y lubricación estén en operación.

Luego de la revisión de las prensas hidráulicas, se trasladaría a inspeccionar el sistema del motorreductor del conductor 2 (3), por si existe algún ruido o vibración extraña; posteriormente, pasaría a realizar la inspección en el conductor 1.

Se recomienda revisar el movimiento de la cadena de arrastre de los conductores.

Seguidamente pasaría a revisar el motor-reductor del agitador del tanque de lodos (4), su rotación, lubricación, ruidos y vibraciones extrañas. Posteriormente, el operario revisaría el sistema hidráulico de la válvula de la tolva (5), para determinar si existe alguna vibración o ruido extraño en él, así también tomar la temperatura de la bomba y revisar el estado de las mangueras.

El siguiente equipo a inspeccionar es el agitador del floculante (6), el operario deberá revisar la rotación, si se está aplicando aire comprimido al tanque, o algún ruido o vibración fuera de lo normal.

A continuación deberá inspeccionar el estado, ruido, vibración, lubricación y temperatura de los cojinetes de las bombas de agua limpia (7), de floculante (8), de lodos decantados (9) y de agua sucia (10). Para concluir, el operario inspeccionará el compresor (11), verificando la presión que genera para la agitación en el tanque de floculante. Seguidamente revisaría la rotación, si se presenta algún ruido o vibración extraña del motor reductor del agitador del tanque de agua sucia (12).

El recorrido de la rutina se realizará cada dos horas, completando cuatro inspecciones en un turno. El operario que entre a turno, debe de chequear las cuatro fichas que llenó el turno anterior, para conocer el comportamiento de la maquinaria y equipo en las últimas 8 horas. Cualquier inconveniente que se presente, el operario deberá informar al ingeniero de turno encargado para tomar las decisiones pertinentes.

#### **4.3. Mejoras para mitigar el riesgo**

Una de las más importantes mejoras es implementar señales de riesgo en las instalaciones del STARI.

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI), no cuenta con señalización en áreas de riesgo, por lo tanto, se propone colocar las siguientes señales para prevenir accidentes:

- Usar los pasamanos, en el área de los pasillos y gradas
- Máquinas en movimiento, en áreas cercanas a motores eléctricos

A continuación se describe el equipo obligatorio de protección personal, en la entrada al STAR1:

- Extintor, en el panel de control de los equipos eléctricos
- Salidas de emergencia, en los pasillos de la planta
- Colocar en los pasillos los rótulos: No corra, piso resbaloso
- Cerca del panel de control, colocar el rótulo que indique: No fumar

Las siguientes imágenes son algunas de varias que se deben instalar en el STAR1:

Figura 47. **Propuestas de señales de riesgo industrial**



Fuente: <http://www.seguridadyservicios.com/segind.html>. Consulta: 7 de junio de 2012.

El operario debe notificar al ingeniero de turno cualquier condición insegura que identifique, para darle un seguimiento adecuado que implique la solución del problema.



## CONCLUSIONES

1. Este documento representa una guía para capacitación del personal y futuras investigaciones en el sistema de tratamiento de agua del lavado de los gases de calderas.
2. Los encargados de mantenimiento podrán utilizar este documento para mantener un nivel adecuado de repuestos de *stock* para el mantenimiento preventivo de todos los equipos del sistema.
3. El implementar la rutina de inspección por parte de los operadores del STARI representará un mejor método de seguimiento de la operación de los equipos, para reducir la tasa de fallas y disminuir los tiempos perdidos, aumentando así la cantidad de sólidos removidos de los gases en la zafra, sin alterar la operación de las calderas.
4. Haber identificado los riesgos físicos, químicos, eléctricos, tales como, el calor, las vibraciones sensibles, iluminación insuficiente, radiación, el ruido y el polvo, ayudará a tomar acciones correctivas y preventivas para aumentar el nivel de seguridad del personal y reducirá la posibilidad de accidentes en el área.
5. La eficiencia de decantación es 79,6% y del filtrado es 44,1%, lo que indica una gran oportunidad de mejora y una brecha tecnológica por cerrar; esto justifica seguir investigando mejores maneras de operar el sistema.

6. Se identificaron los problemas más comunes que se presentan en el sistema, entre ellos, problemas operacionales con las bombas de agua sucia, de agua limpia, de polímero floculante, atascamiento de las válvulas de fondo de los decantadores, derrame de lodos en el conductor 2, llenado de decantadores, etc. Lo que puede impulsar un plan de acciones de mantenimiento y cambio en las maneras de operación de los equipos, que redundará en una mejor utilización de los equipos y recursos.
  
7. Si los equipos funcionan correctamente, la eficiencia promedio se mantendrá estable, permitiendo la continuidad de la operación a través del aseguramiento de la vida útil de estos, mayor disponibilidad del sistema y menor tiempo perdido en la corrección de fallas imprevistas.



## RECOMENDACIONES

1. Mantener actualizada la información de los equipos que conforman el sistema, para que en futuros estudios se puedan equiparar las condiciones actuales con las pasadas, estableciendo parámetros críticos de operación.
2. Velar por mantener disponibles en bodega, el nivel óptimo de stock de repuestos críticos, para que al momento de necesitar alguno de estos, no se demore el aprovisionamiento.
3. Implementar la propuesta del recorrido para la rutina de inspección de los equipos del STARI, anotar datos verídicos en el formato propuesto para determinar la condición y comportamiento de los equipos. Así también incluir cualquier observación importante para enriquecer la base de datos.
4. Cumplir con las normas de seguridad de la empresa, utilizar el equipo de protección personal adecuado y colocar la rotulación recomendada.
5. Verificar constantemente el funcionamiento de los equipos con mayor riesgo de falla, anotar en el formato de control toda observación inusual que se presente, para poder hallar la causa raíz del problema.
6. Continuar con la extracción de muestras de agua para el análisis de partículas contenidas en ella y así determinar constantemente la eficiencia del sistema.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ARREAZA NAVAS, Jaenz Orlando. *Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña*. Trabajo de graduación de Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2009. 110 p.
2. CASAL, Joaquim; et al. *Análisis de riesgo en Instalaciones Industriales*. 3a. ed. Barcelona: España. UPC, 1999. 244 p.
3. CHAN COYOY, Everardo. *Diseño de procedimientos de operación de una planta termoeléctrica en un ingenio azucarero*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2003. 156 p.
4. CHEN, James C. P. *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa, 2008. 1204 p.
5. INGENIO LA UNIÓN. *Manual de proceso de tratamiento de aguas residuales industriales*. Guatemala. Ingenio La Unión 2005. 18 p.
6. LEZANA CHAJÓN, Luis. *Análisis de operación y funcionamiento de un clarificador de agua, oriunda de lavado de gases en calderas de Ingenio La Unión, S.A.* Trabajo de graduación de Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 133 p.

7. POPE, J. Edward. *Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 416 p.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Interesado: Facultad de Ingeniería -EPS-  
Dependencia: Universidad de San Carlos de Guatemala  
Lugar: Ingenio La Unión  
Recolectado por: Sergio Daniel Teni Sierra  
Proyecto: E P S "Operación y Mantenimiento de la Maquinaria y equipo que constituye el sistema de tratamiento de aguas Residuales Industriales del Ingenio la Unión, S.A."

Orden de Trabajo No. 28748  
Carnet: 2005516194  
Municipio: Santa Lucía Cotzumalguapa  
Departamento: Escuintla

O. T. INFORMES	FUENTE	FECHA Y HORA DE LLEGADA	FECHA Y HORA DE RECOLECCION	TEMPERATURA °C	TURBIEDAD UTN	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micromhos/cm	SOLIDOS TOTALES mg/L	SOLIDOS FIJOS mg/L	SOLIDOS VOLATILES mg/L	SOLIDOS DISUUELTOS mg/L
24343 AL 24346	Línea Principal Decantador Descarga fondo Decantador Salida Filtro Rotativo	2011-04-04 11:35 hrs 2011-04-04 11:47 hrs 2011-04-04 11:55 hrs 2011-04-04 12:10 hrs	2011-04-04 16:00 hrs 2011-04-04 16:00 hrs 2011-04-04 16:00 hrs 2011-04-04 16:00 hrs	25.0 25.1 25.0 24.8	1460.00 29.00 3640.00 1750.00	3.76 3.72 3.72 3.55	18269.00 2730.00 11288.00 6352.00	13323.00 577.00 1921.00 1391.00	4946.00 577.00 1921.00 1391.00	1988.00 1971.00 1972.00 1879.00
24350 AL 24353	Línea Principal Vertedero Decantador Descarga fondo Decantador Salida Filtro Rotativo	2011-04-06 09:42 hrs 2011-04-06 09:48 hrs 2011-04-06 10:09 hrs 2011-04-06 10:18 hrs	2011-04-06 14:50 hrs 2011-04-06 14:50 hrs 2011-04-06 14:50 hrs 2011-04-06 14:50 hrs	24.0 24.2 24.4 24.2	1600.00 46.00 8600.00 7300.00	3.65 3.46 4.33 3.20	1600.00 3050.00 48241.00 27680.00	6000.00 2450.00 41595.00 23481.00	4954.00 600.00 6646.00 4199.00	1872.00 1834.00 2350.00 1717.00
24357 AL 24360	Línea Principal Vertedero Decantador Descarga fondo Decantador Salida Filtro Rotativo	2011-04-08 10:10 hrs 2011-04-08 10:20 hrs 2011-04-08 10:30 hrs 2011-04-08 10:35 hrs	2011-04-08 12:57 hrs 2011-04-08 12:57 hrs 2011-04-08 12:57 hrs 2011-04-08 12:57 hrs	23.8 23.9 23.9 24.1	2240.00 39.00 5700.00 1727.00	3.69 3.65 4.13 3.52	16831.00 5646.00 104898.00 65276.00	13880.00 5173.00 99450.00 22760.00	2951.00 819.00 5448.00 42516.00	1954.00 1936.00 2270.00 1863.00
24363 AL 24366	Línea Principal Vertedero Decantador Descarga fondo Decantador Salida Filtro Rotativo	2011-04-11 09:33 hrs 2011-04-11 09:43 hrs 2011-04-11 09:55 hrs 2011-04-11 10:01 hrs	2011-04-11 12:35 hrs 2011-04-11 12:35 hrs 2011-04-11 12:35 hrs 2011-04-11 12:35 hrs	24.2 24.7 24.4 24.5	1800.00 72.00 6400.00 4900.00	3.59 3.49 4.05 3.21	18760.00 2754.00 73250.00 18856.00	15116.00 797.00 62360.00 16143.00	3674.00 797.00 10890.00 2713.00	1905.00 1843.00 2150.00 1695.00
24377 AL 24380	Línea Principal Vertedero Decantador Descarga fondo Decantador Salida Filtro Rotativo	2011-04-13 09:37 hrs 2011-04-13 09:50 hrs 2011-04-13 10:02 hrs 2011-04-13 10:15 hrs	2011-04-13 15:10 hrs 2011-04-13 15:10 hrs 2011-04-13 15:10 hrs 2011-04-13 15:10 hrs	24.7 24.4 24.4 24.6	1753.00 53.00 4980.00 4250.00	3.59 3.40 4.10 3.44	16008.00 1977.00 190260.00 32228.00	13757.00 1577.00 154427.00 29069.00	2251.00 400.00 35833.00 3159.00	1958.00 1150.00 2035.00 1500.00

Guatemala 23 de Junio 2 011.



Vo.Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

*[Signature]*  
Zelma Much Sainos  
Ingeniero Civil, No. 420  
M. S. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

## ANEXO