

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIANA MERCEDES RÍOS MARTÍNEZ

ASESORADA POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
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 Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón De León
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:

DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Industrial, con fecha septiembre de 2010.

Diana Mercedes Ríos Martínez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 7 de julio de 2011.
REF.EPS.DOC.766.07.11.

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

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) de la estudiante universitaria de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Diana Mercedes Ríos Martínez**, Carné No. **200413078** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A."**.

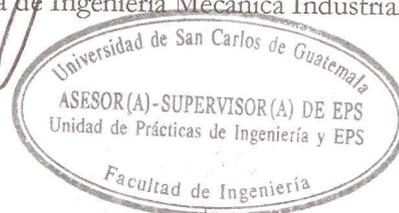
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



JHBE/ra



Guatemala, 7 de julio de 2011.
REF.EPS.D.540.07.11

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.”** que fue desarrollado por la estudiante universitaria, **Diana Mercedes Ríos Martínez** quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel.

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, 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 Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

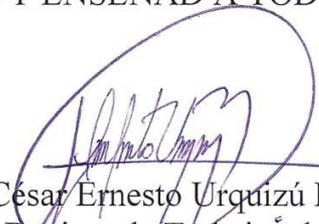


FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.112.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por la estudiante universitaria **Diana Mercedes Rios Martinez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2011.

/mjp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.132.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por la estudiante universitaria **Diana Mercedes Ríos Martínez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2011.

/mgp



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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Diana Mercedes Ríos Martínez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre de 2011

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el autor en mi vida y permitirme alcanzar esta meta, gracias por estar conmigo siempre.

Mis abuelos

Margarito Enrique Ríos Martínez, Marta Piedad Villatoro Galindo, Luis Ángel Martínez (q.e.p.d.) y María del Carmen Marroquín, por todo su amor.

Mis padres

A mi padre gracias por estar conmigo y brindarme tu amor, cariño y amistad siempre. A mi madre gracias por todas tus enseñanzas y amor que me has brindado durante toda mi vida. Los amo y espero que el logro obtenido el día de hoy pueda recompensar parte de todos sus sacrificios.

Mis hermanos

Fredy Roberto y José Enrique gracias por todo el tiempo compartido y por brindarme su amistad. Los amo.

Mi esposo

Abdi Uziel Rodas Arzét, ayuda idónea en mi vida, gracias por ser mi amigo, confidente y compartir conmigo momentos alegres y tristes. Te amo con todo mi corazón.

Mis hijos

Helea Janeth, Abdi Jared y Gerson Uziél, por ser las personas que me impulsaron con mayor potencia para llegar a culminar esta meta, los amo y espero que el logro obtenido el día de hoy sirva de ejemplo en un futuro para sus vidas.

Mis tíos

Gracias por sus consejos y tiempo compartido en vida los quiero mucho.

Mis sobrinos

Paola Elizabet, Fredy Esteban, Paola, Jacob, Isabela, Anabela e Isaac, por ser personas importantes en mi vida los quiero.

Mi suegra

Gersi Arzét por ser una amiga muy importante en mi vida, gracias por sus consejos, tiempo y ayuda brindada para lograr alcanzar la meta hoy obtenida. A Ronaldo Rodas gracias por sus consejos y ayuda.

Mis cuñados

Isaac, José, Carlos, Gersi, Abner, Jermi Esdras y Gabriela Reyes, por demostrarme su afecto siempre y ayuda brindada. En especial a Maggi (q.e.p.d.) por su tiempo y buenos deseos en mi vida, que Dios te bendiga siempre.

Mis amigos

Nidia Ortiz por todos sus consejos y muestras de afecto, Verónica Fajardo, Flor Chavez, Lorena Barrios, Nancy Ruiz, Domingo Batten, Juan Pablo Pérez, Gabriel Arriola, Ronal Paxtor por sus buenos deseos y en general a todos mis amigos, gracias.

La Iglesia de Dios

por enseñarme a conocer los verdaderos caminos hacia Dios.

AGRADECIMIENTOS A:

Ingenio la Unión S.A.	Por abrirme sus puertas y permitirme elaborar mi Ejercicio Profesional Supervisado.
Los ingenieros	Carlos René Cifuentes Villatoro, Enrique Velásquez, Everardo Chan y Edwin Gamboa por transmitirme sus conocimientos y brindarme toda su ayuda y amistad a lo largo de este proceso.
Mi asesor	Ing. Jaime Batten, por su tiempo y guiarme durante todo mi EPS.
La Facultad de Ingeniería	Por forjar mis conocimientos y haberme dado la oportunidad de ingresar a sus filas.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser nuestra alma mater la cual nos ha visto crecer intelectualmente hasta lograr ser los mejores profesionales.

NDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Histórica	1
1.1.2. Visión	6
1.1.3. Misión.....	6
1.1.4. Política de Calidad	6
1.2. Estructura Organizacional	6
1.3. Ubicación.....	10
2. DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO	11
2.1. Marco de referencia.....	11
2.1.1. Aspectos básicos de calderas.....	11
2.1.2. Tipos de calderas.....	12
2.1.2.1. Pirotubulares	12
2.1.2.2. Acuotubulares	13

2.2.	Diagnóstico de la situación actual	14
2.2.1.	Descripción del proceso actual.....	15
2.2.2.	Diagrama Causa-Efecto	16
2.2.3.	Tipos de calderas con las que trabaja el ingenio.....	18
2.2.3.1.	Partes que conforman una caldera	22
2.2.3.2.	Sistemas auxiliares de una caldera	25
2.2.3.3.	Sistemas de protección de una caldera	28
2.2.4.	Especificaciones para calderas del Ingenio.....	29
2.2.4.1.	Flujo de vapor	29
2.2.4.2.	Presión de vapor.....	30
2.2.4.3.	Temperatura de vapor	31
2.2.4.4.	Flujo, presión y temperatura del agua de alimentación.....	32
2.2.4.5.	Flujo, temperatura, presión de aire de combustión.....	34
2.2.4.6.	Temperatura, presión de gases de salida.....	37
2.2.4.7.	Tipos de alimentadores de bagazo	38
2.2.4.8.	Flujo de bagazo quemado en el hogar de la caldera	39
2.2.5.	Diseño de calderas en la situación actual.....	40
2.3.	Propuesta del sistema de recolección en seco	45
2.3.1.	Diseño del nuevo sistema.....	45
2.3.1.1.	Elaboración de planos para el nuevo equipo en las calderas.....	55
2.3.1.2.	Implementación del nuevo sistema para recolección en seco	57

2.3.2.	Equipos que integran el sistema de recolección de ceniza en seco	58
2.3.2.1.	Motor eléctrico.....	58
2.3.2.2.	Especificaciones de cajas reductoras	60
2.3.2.3.	Tipo y tamaño de <i>sprockets</i>	61
2.3.2.4.	Cálculo de esfuerzos en cadenas de transmisión.....	64
2.3.2.5.	Especificaciones para chumaceras	66
2.3.3.	Procesos para la elaboración del transportador helicoidal	67
2.3.3.1.	Diagrama de operaciones del proceso.....	73
2.3.3.2.	Diagrama de flujo	77
2.3.3.3.	Diagrama de recorrido.....	81
2.3.4.	Análisis de cargas y deflexiones en los transportadores helicoidales	82
2.3.5.	Expansión térmica en los transportadores helicoidales ...	84
2.4.	Plan de Mantenimiento	87
2.4.1.	Plan de mantenimiento (PHVA= planificar, hacer, verificar, analizar).....	91
2.4.2.	Mantenimiento Preventivo.....	97
2.5.	Beneficios al medio ambiente por medio del sistema de recolección en seco	100
2.5.1.	Reducción de emisiones al medio ambiente.....	100
2.5.2.	Evitar el desbordamiento hacia el río Petayá (efluentes)	104
2.5.3.	Organizaciones encargadas del medio ambiente en Guatemala.....	105
2.5.4.	Riesgos en los que incurre el ingenio por dañar el medio ambiente	106

3.	ANÁLISIS DE COSTOS-BENEFICIO	109
3.1.	Análisis de costos para el sistema de recolección en seco.....	109
3.1.1.	Costo de materiales utilizados para el sistema de recolección en seco	110
3.1.1.1.	Láminas	110
3.1.1.2.	Tubos.....	111
3.1.1.3.	Ejes.....	111
3.1.1.4.	Tornillos	112
3.1.2.	Costos para materiales utilizados en el sistema de recolección en seco; especificaciones de materiales consumibles	113
3.1.2.1.	Electrodos.....	113
3.1.2.2.	Abrasivos	113
3.1.2.3.	Limpieza mecánica	114
3.1.3.	Costos de herramientas utilizadas para el sistema	115
3.1.3.1.	Corte de metales.....	115
3.1.3.2.	Soldadura.....	116
3.1.3.3.	Neumática.....	116
3.1.4.	Costos de equipos necesarios para el sistema de recolección en seco	117
3.1.4.1.	Motores eléctricos.....	117
3.1.4.2.	Reductores de velocidad	117
3.1.4.3.	Sprockets	118
3.1.4.4.	Cadenas de transmisión	118
3.1.4.5.	Chumaceras y cojinetes.....	119

3.2.	Costos de montaje e implementación del sistema de recolección en seco	119
3.2.1.	Costo total de materiales necesarios para el sistema....	119
3.2.2.	Costo total de herramientas necesarias para el sistema.....	120
3.2.3.	Costo total de equipos necesarios para el sistema.....	120
3.2.4.	Costo total de mano de obra para el proyecto	121
3.3.	Costo total de la inversión	122
3.4.	Beneficios esperados por la implementación del sistema de recolección en seco	122
3.4.1.	Disminución del consumo de floculante para la clarificación del agua de lavado para los gases de combustión de las calderas.....	122
3.4.2.	Optimizar el proceso de clarificación del agua de lavado de los gases de combustión en los separadores de hollín.....	124
3.4.3.	Optimizar el consumo de agua de inyección en las calderas del Ingenio	124
3.5.	Evaluación de la Inversión.....	125
3.5.1.	Elaboración para medir rentabilidad del proyecto por medio del método VPN (valor presente neto)	126
4.	ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDERAS.....	131
4.1.	Presentación del nuevo sistema.....	131
4.1.1.	Identificación de equipos que componen el sistema.....	133
4.1.2.	Funcionamiento del nuevo sistema.....	136

4.1.3.	Beneficios que traerá el nuevo sistema al departamento de calderas	138
4.2.	Equipo de seguridad industrial necesario para trabajar con el nuevo sistema de recolección en seco	138
4.2.1.	Protección para el sistema respiratorio (para calderas).....	139
4.2.2.	Protección para manos.....	139
4.2.3.	Gafas protectoras	140
4.2.4.	Botas industriales	140
4.2.5.	Protección para oídos.....	141
4.3.	Plan de Mantenimiento (según el ciclo de mejora continúa, PHVA)	141
4.3.1.	Limpieza	141
4.3.2.	Lubricación	142
4.3.3.	Pruebas	143
	CONCLUSIONES.....	149
	RECOMENDACIONES.....	151
	BIBLIOGRAFÍA.....	153
	ANEXO	155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama, (área de generación).....	9
2.	Mapa de ubicación de la empresa	10
3.	Diagrama de Causa-Efecto.....	18
4.	Diseño de caldera de vapor acuatubular.....	22
5.	Medidor de presión de vapor de la caldera	30
6.	Temperatura de vapor de la caldera	31
7.	Medidor de flujo de agua de alimentación de una caldera	32
8.	Medidor de presión del agua de alimentación de la caldera	33
9.	Medidor de temperatura del agua de alimentación	34
10.	Medidor de temperatura de aire de combustión.....	35
11.	Medidor de presión de aire de combustión (tiro forzado).....	36
12.	Medidor de temperatura de gases de salida de la chimenea de la caldera.....	37
13.	Medidor de presión del hogar, gases de salida de la caldera	38
14.	Vista lateral de los tambores rotativos de los alimentadores	39
15.	Canal de agua con ceniza saliendo de la caldera.....	40
16.	Sistema Separador de Partículas (<i>scrubbers</i>)	42
17.	Diseño de caldera bagacera	43
18.	Diagrama de decantación de desechos en el sistema de clarificación.....	44
19.	Diseño del sistema de recolección en seco instalado dentro del cenicero de las calderas	56

20.	Diseño del sistema de recolección en seco de ceniza (vista lateral izquierda)	57
21.	Chumaceras tipo brida.....	66
22.	Diagrama de operaciones.....	74
23.	Diagrama de flujo	78
24.	Diagrama de recorrido	81
25.	Programación del mantenimiento	89
26.	Diagrama PHVA	92
27.	Hoja de control para equipo del sistema de recolección en seco	96
28.	Ficha de control de reporte de actividades	99
29.	Diagrama del sistema de clarificación de agua de ceniza de lavado de gases y ceniceros en calderas	102
30.	(Situación propuesta) diagrama del sistema de clarificación de agua de ceniza de lavado de gases	103
31.	Válvula de mariposa	104
32.	Diagrama de flujo de efectivo	128
33.	Diagrama de flujo de efectivo del proyecto.....	129
34.	Motores eléctricos, para el sistema de recolección en seco.....	133
35.	Reductor, para el sistema de recolección en seco	134
36.	<i>Sprockets</i> , instalados en el sistema de recolección en seco	135
37.	Chumaceras para el sistema de recolección en seco	135
38.	Artesa (canoa) del transportador helicoidal instalado en el cenicero de la caldera.....	136
39.	Artesa (canoa), transportador helicoidal y sello instalado en el cenicero de la caldera	137
40.	Sistema de recolección en seco instalado.....	138
41.	Mascarilla con filtro	139
42.	Guates para soldador	139

43.	Visor para altas temperaturas	140
44.	Botas.....	140
45.	Auditivos anatómicos.	141
46.	Operarios del departamento de calderas en capacitación a	145
47.	Operarios del departamento de calderas en capacitación b	146
48.	Operarios del departamento de calderas en capacitación c	146
49.	Operarios del departamento de calderas en capacitación d	147
50.	Operarios del departamento de calderas en capacitación e	147
51.	Operarios del departamento de calderas en capacitación f	148

TABLAS

I.	Características del material.....	46
II.	Capacidad de transportadores helicoidales	48
III.	Selección de bujes para colgantes	49
IV.	Factor del diámetro del transportador.....	51
V.	Factor para porcentaje de carga de transportador	52
VI.	Factor de polea.....	52
VII.	Factor de eficiencia en transmisiones.....	53
VIII.	Tiempos cronometrados	68
IX.	Porcentaje de tolerancias	71
X.	Tiempos estándar	72
XI.	Tubo cédula 40	83
XII.	Tubo cédula 80	84
XIII.	Canales frontales.....	110
XIV.	Canales traseros	111

XV.	Ejes frontales	112
XVI.	Ejes traseros	112
XVII.	Tornillos	112
XVIII.	Electrodos	113
XIX.	Materiales abrasivos	114
XX.	Limpieza mecánica	114
XXI.	Corte de metales.....	115
XXII.	Herramientas de soldadura.....	116
XXIII.	Motores eléctricos.....	117
XXIV.	Reductores de velocidad	117
XXV.	<i>Sprockets</i>	118
XXVI.	Cadenas de transmisión.....	118
XXVII.	Chumaceras y cojinetes	119
XXVIII.	Mano de obra	121
XXIX.	Programación de actividades	132

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza
C	Capacidad en pies cúbicos por hora
e	Eficiencia de transmisión
F_m	Factor del material
F_d	Factor de diámetro de transportador
F_b	Factor de buje para colgante
F_f	Factor de helicoide
F_p	Factor de polea
F₀	Factor de sobrecarga
gpm	Galones por minuto
HP_f	Caballos de fuerza para manejar un transportador vacío
HP_m	Caballos de fuerza para mover el material
I	Momento de inercia
km	Kilómetros
kg	Kilogramos
L	Largo total del transportador, pies
lb/h	Libras por hora
lb/p³	Libras por pie cúbico
MWH	Megawatts por hora
H₂O	Molécula del agua
W	Peso en libras
p³/h	Pies cúbicos por hora
RPM	Revoluciones por minuto

F	Símbolo de grados Farenheit
psi	Símbolo de libras por pulgada cuadrada
ton/h	Toneladas por hora
N	Velocidad de operación del transportador

GLOSARIO

Bagazo	Material sólido y fibroso, residuo de la molienda de la caña de azúcar, el cual es suministro para la generación de energía.
Ceniceros de calderas	Lugar donde se acumula la ceniza extraída de la parrilla.
Ceniza	Procedente del bagazo de caña puede obtenerse como residuo de la combustión en los quemadores de los generadores de vapor.
Chimenea	Conducto empleado para la expulsión de la combustión del bagazo en el hogar de las calderas bagaceras.
<i>Cush-Cush</i>	Colador de bagacillo o ceniza.
Decantadores	Es un método físico de separación de mezclas heterogéneas, en el ingenio es la separación de agua y desechos de ceniza.
Domo	Parte de la caldera de forma cilíndrica que recibe agua de alimentación.

Electrodos	Es un insumo para soldadura eléctrica. Consiste en una varilla metálica con recubrimiento relativamente grueso que protege el metal fundido de la atmosfera, mejora las propiedades del metal de soldadura y estabiliza el arco.
Floculante	Polielectrolitos orgánicos solubles en agua que se usan sólo o en combinación con coagulantes inorgánicos, como sales de aluminio o de hierro, con el objeto de aglutinar los sólidos presentes en el agua.
Hollín	Aglomeración de partículas de carbón.
Parrilla	Elemento de la caldera sobre el cual se depositan las cenizas de la combustión.
Potencia	Capacidad que tiene un cuerpo de efectuar un trabajo en un tiempo determinado.
Purga	Limpiar, evacuar sólidos no deseados, en suspensión o sedimentados, de una caldera.
Scrubbers	Lavador de gases.

Zafra

Tiempo de cosecha de la caña de azúcar, además del procesamiento de la misma, para la producción de azúcar en los ingenios azucareros.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue desarrollado a través del ejercicio profesional supervisado (EPS) en la empresa Ingenio La Unión, en donde se realizó una investigación de la situación actual del departamento de calderas, para formarnos una idea de los factores principales que aquejan el departamento y como se pueden solucionar de la mejor manera.

Atendiendo a tantos reglamentos que existen hoy en día para la protección del medio ambiente, el Ingenio la Unión, propuso poner en marcha para la reparación 2010, el proyecto de recolección en seco de cenizas del hogar de las calderas de bagazo, dada la gran demanda de desechos que llegaban al sistema de clarificación, dando como resultado el colapso del mismo y como consecuencia descargas de desechos al río Petayá.

El sistema de clarificación de agua de ceniza, el lavado de gases (*scrubbers*) y los ceniceros de las calderas, son sistemas que trabajan en base de un circuito cerrado, tratando el agua con desechos para recircularla nuevamente a las calderas.

Con el fin de disminuir la carga al sistema de clarificación se instalan transportadores helicoidales en los ceniceros frontales y traseros de las calderas, que trabajaran a base de motores eléctricos. Con este proyecto se espera mejorar los gases de salida de chimenea, reduciendo las emisiones toxicas al medio ambiente, y evitar el colapso del sistema de clarificación evitando los derrames a efluentes como el río Petayá.

El presente trabajo está contenido en cuatro incisos, divididos de la siguiente manera: en el primero se presenta todos los antecedentes generales de la empresa, desde su reseña histórica, hasta el organigrama general.

En el segundo se presenta la fase de servicio técnico profesional donde se detalla todos los procesos que se harán para la implementación del nuevo sistema que trabajará en seco, para mejorar el manejo y recolección de desechos que salen del hogar de las calderas.

En el tercero se presenta la fase de investigación donde se detallará un análisis de costos para ver los beneficios y ahorros que tendrá el nuevo sistema de trabajo en seco, donde se determinará el costo del proyecto y en cuánto tiempo recuperará la inversión el ingenio.

En el cuarto se presenta la última fase denominada fase de enseñanza-aprendizaje, en donde los trabajadores serán instruidos sobre los cambios realizados al departamento de calderas.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar el sistema de recolección en seco para el manejo de cenizas en el hogar de las calderas de bagazo del Ingenio la Unión, mejorando la combustión de las calderas, optimizando el funcionamiento en el sistema de clarificación y reduciendo las emisiones nocivas al medio ambiente.

Específicos

1. Implementar el sistema de recolección en seco para minimizar el consumo de agua de inyección en las calderas del ingenio.
2. Disminuir la carga de desechos al sistema de clarificación, evitando la sobresaturación en la celda de decantación.
3. Reducir las emisiones nocivas al medio ambiente por medio del sistema de lavadores de gases (*scrubbers*).
4. Elaborar un análisis de costos en la instalación del sistema de recolección en seco y manejo de ceniza en los hogares de las calderas bagaceras.

5. Evaluar el proyecto por medio del método valor presente neto (VPN), para determinar el tiempo de recuperación de la inversión realizada por el Ingenio La Unión.

6. Capacitar al personal del departamento de calderas, dándoles a conocer las mejoras que traerá el nuevo sistema de recolección en seco y manejo de ceniza en el hogar de las calderas.

INTRODUCCIÓN

Los transportadores helicoidales (gusanos helicoidales), es uno de los métodos más antiguos para el manejo de materiales, en los ingenios azucareros. En nuestro país podemos encontrar diversidad de estos instalados en distintas maquinarias.

El Ingenio La Unión, pensando siempre en la mejora continua de sus procesos productivos, ha decidido instalar transportadores helicoidales en los ceniceros de las calderas, debido a la gran demanda de desechos que existe en los mismos. Durante la zafra pasada, el área de calderas trabajó con un sistema de circuito cerrado, el cual consistía en recolectar por medio de canales de agua los desechos emanados por los hogares de las calderas, pasando estos canales por los ceniceros y por el agua de los lavadores de gases (*scrubbers*), llegando hasta el sistema de clarificación de agua de ceniza.

Al analizar el sistema de clarificación se determinó que debido a la sobresaturación de desechos en tiempo de zafra azucarera el sistema llegaba a colapsar, tomando como solución inmediata la descarga de desechos a las aguas efluentes (río Petayá), contaminando de esta manera la flora y fauna de la región.

El sistema de recolección en seco de ceniza, tiene como principales objetivos disminuir la carga al sistema de clarificación de ceniza, eliminar derrames a las aguas efluentes y disminuir la contaminación ambiental.

Para poder determinar el diseño y montaje para la implementación de los transportadores helicoidales, es necesario analizar los materiales adecuados para su elaboración debido a que estarán sometidos a altas temperaturas, determinar los equipos necesarios para el sistema y el mantenimiento adecuado que se le tiene que dar al mismo.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes

El Ingenio La Unión es un grupo agroindustrial dedicado a la producción de caña de azúcar, azúcar, electricidad y mieles.

El grupo La Unión está integrado por el Ingenio La Unión y el Ingenio Los Tarros. Están ubicados en la Costa Sur de la República de Guatemala, en donde por casi cincuenta años han sido un factor determinante en el desarrollo de esa región.

Están enfocados hacia la excelencia como grupo de trabajo, para obtener productos de calidad, que satisfagan las necesidades de sus clientes. Para ello cuentan con un grupo humano comprometido y en continuo desarrollo, ya que en época de zafra alcanzan a ser más de siete mil colaboradores.

1.1.1. Histórica

En abril de 1950, don José García, un próspero comerciante de abarrotes, emprendió una nueva empresa que le llevaría a una de las más grandes aventuras en la historia de la agroindustria de Guatemala; pasaría de vender dulces y abarrotes a cultivar caña y a transformarla en miel, panela y azúcar. Adquirió la Finca Los Tarros y con ella, la mágica pasión que inspira trabajarla y sacarle el jugo a la tierra.

Los Tarros presentaba grandes oportunidades para un visionario como don Pepe García, pero también grandes retos, pues el ingenio requería mucha inversión de tiempo, dedicación y dinero; prácticamente no tenía más que un trapiche.

Cuando don Pepe 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 era de 300 quintales de café pergamino, 2000 toneladas de caña y 300 cargas de panela, además de unos 300 novillos.

A pesar de la incertidumbre política causada por el tema de la Reforma Agraria impulsada por el presidente Jacobo Arbenz Guzmán, don Pepe García trabajó afanosamente desde el inicio. Con la energía que le inyectó, 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, ésta suspendió las compras de miel y entonces en Los Tarros se tomó la decisión de producir azúcar.

Con ese propósito, durante el gobierno del General e Ingeniero Miguel Ydígoras Fuentes, fue comprada al Estado la maquinaria de la Finca Nacional llamada Cecilia, situada en San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez. El precio pagado fue de 18 mil quetzales. 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, lo que permitió aumentar la molienda a 1 800 toneladas diarias.

Entre 1950 y 1967, don Pepe fue el principal responsable de la empresa, sin embargo, sus hijos Similiano y Lucrecia estaban a punto de recibir el legado de su padre, valores más grandes que el patrimonio de la empresa familiar: honorabilidad y amor al trabajo.

El hijo mayor de don Pepe y doña Anny de García, Similiano Garcia, se integró a partir de 1950 como un trabajador más a Los Tarros. Se pasaba meses enteros en el ingenio y las fincas. De esa forma llegó a conocer todos los pormenores del negocio y a todos los compañeros de trabajo en todas las fases del proceso, desde el cultivo hasta la fabricación de azúcar. Se caracterizó siempre por ser un hombre con gran energía humana, lo que le hizo ser el motor más poderoso de Los Tarros, y tiempo después, de La Unión.

Don Similiano supo ganarse el respeto y la admiración de todos, por sus cualidades empresariales y humanas. Su impulso empresarial lo combinó con iniciativas de mejora a todo el personal en las áreas de educación, salud y condiciones de vida en general.

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. Y 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 mediante cambios paulatinos, pero sobre todo debido a una mejor gestión del grupo humano de la fábrica, 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 tuvo la visión del potencial de este nuevo negocio y se firmó un contrato con la Empresa Eléctrica de Guatemala para la venta de energía eléctrica. Se empezó de esta forma a congenerar, 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 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 el mundo en usar motores eléctricos de corriente alterna como fuerza motriz para todos los molinos.

Actualmente se genera suficiente electricidad para ser autosuficiente en el proceso industrial y a su vez se vende al mercado eléctrico nacional 30 MWH.

En forma paralela al desarrollo de la fábrica, se dio una evolución y mejoramiento en el área agrícola. Se estableció el paquete tecnológico del cultivo de la caña, que consiste en preparación de tierras, siembra, fertilización, riegos, control de malezas, control de enfermedades y plagas, así como la cosecha de caña. Esta última incluye corte, alce y transporte, el denominado camino de la sacarosa, planificación y aplicación de madurantes. La Unión fue el primer ingenio en Centro América en aplicar tecnología biológica para el control integrado y sostenible de plagas. Actualmente éstas se emplean en otros ingenios y países para mejorar la sanidad vegetal.

En el 2000, como la mejor opción de realizar la transición de la segunda a la tercera generación de accionistas, se firmó un convenio mediante el cual se constituyó el Consejo de Administración, formado por directores externos.

Se desarrolló un proyecto de expansión que llevó al ingenio a moler 18 000 toneladas de caña/día en la zafra 2008-2009.

1.1.2. Visión

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

1.1.3. Misión

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.

1.1.4. Política de Calidad

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.

1.2. Estructura Organizacional

El Ingenio La Unión está formado por un Consejo Administrativo, una Gerencia General y las siguientes gerencias:

- Gerencia de Operaciones
- Gerencia Financiera

- Gerencia Administrativa
- Gerencia de Proyectos Nuevos
- Gerencia Recursos Humanos
- Gerencia Industrial

La función de la Gerencia General es dirigir y controlar las operaciones totales del ingenio con la asesoría del Consejo Administrativo. Además, la Gerencia General es quién propone estrategias y planes de acción para obtener el desarrollo del ingenio.

La Gerencia de Operaciones se encarga de proveer caña de calidad a la fábrica del ingenio.

La gerencia Financiera, como su nombre lo indica, tiene como función evaluar los asuntos financieros del ingenio; entre ellos, el estado de pérdidas y ganancias y los presupuestos de capital.

La Gerencia Administrativa se encarga de la gestión administrativa del ingenio para ofrecer un producto que satisfaga las expectativas del cliente o consumidor final.

La Gerencia de Proyectos nuevos es una gerencia de apoyo cuya función es administrar, planificar y evaluar, los nuevos proyectos que se tengan para el ingenio con el objetivo de detectar su viabilidad.

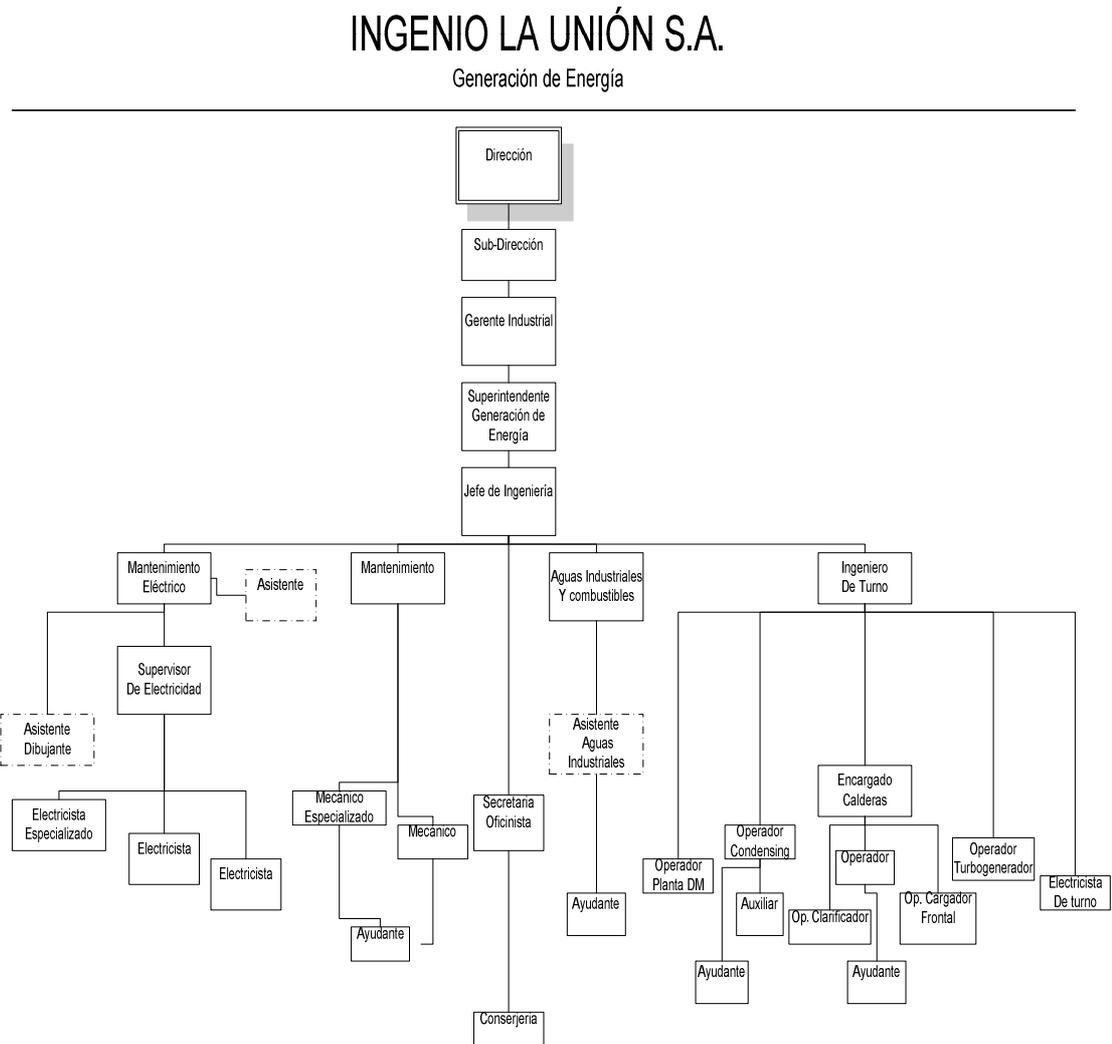
La Gerencia de Recursos Humanos tiene como función tener al personal idóneo y calificado en los puestos de trabajo a través de la realización de planes para desarrollo del personal.

La Gerencia Industrial es la encargada de planificar y dirigir las actividades y operaciones del ingenio, específicamente las operaciones de molienda y fábrica. Tiene a su cargo la superintendencia del Ingenio La Unión y la superintendencia de generación.

El organigrama del Ingenio la Unión partiendo del área de generación de energía representa una pirámide jerárquica, ya que las unidades se desplazan, según su jerarquía, de arriba abajo en una graduación jerárquica descendente.

También conocida como departamentalización funcional, es la más difundida y utilizada ya que representa a la organización estructural. Esta estructura, se podría llamar tradicional ya que predomina en la mayor parte de las organizaciones tanto privadas como públicas. En la siguiente figura se observa el organigrama del área de generación.

Figura 1. Organigrama, Área de generación en época de zafra

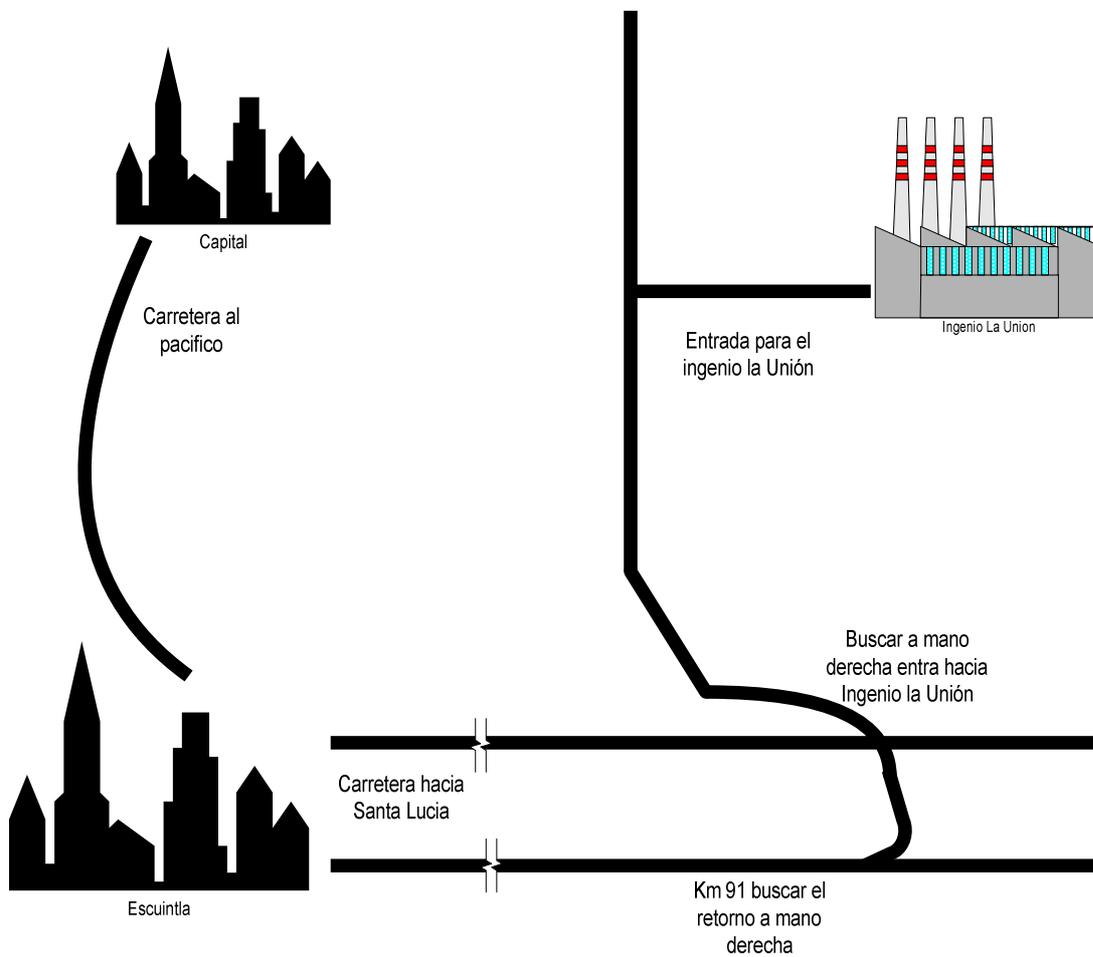


Fuente: Ingenio La Unión, área de generación.

1.3. Ubicación

Ingenio La Unión ubicado en Finca Belén en el kilómetro 101,5 Carretera Cerro Colorado del departamento de Escuintla, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

Figura 2. Mapa de Ubicación de la Empresa



Fuente: elaboración propia.

2. DISEÑO Y MONTAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO Y MANEJO DE CENIZA EN EL HOGAR DE LAS CALDERAS DE BAGAZO

2.1. Marco de referencia

Las calderas de vapor son aparatos en los que se hace hervir agua para producir vapor. La forma de las calderas de vapor ha evolucionado considerablemente y, sobre todo se ha diversificado, incluso si se limita a considerar las calderas calentadas por hogares.

Las primeras calderas consistían esencialmente en recipientes cerrados, cuya parte inferior llena de agua estaba sometida a la irradiación de un hogar o al contacto de gases calientes. Para obtener además grandes superficies de contacto se construyeron más adelante calderas con hervidores, situados debajo del cuerpo cilíndrico principal y conectado a éste mediante conductos tubulares.

2.1.1. Aspectos básicos de calderas

Las calderas son dispositivos industriales de gran aplicabilidad en la industria a nivel mundial; su objetivo principal es el de generar calor que pueda luego ser aprovechado en diferentes secciones del proceso. El calor es transferido en forma de vapor; el cual puede ser aprovechado para una gran diversidad de usos.

El vapor generado se conduce a través de tuberías, las cuales deben encontrarse aisladas, hacia los diferentes puntos del proceso. Entre las aplicaciones mas importantes en Guatemala del uso de vapor generado en las calderas están: generación de potencia (plantas eléctricas), evaporación de soluciones de sal y azúcar en evaporadores, utilización del vapor en intercambiadores de calor para calentar diversas soluciones, se utiliza en la industria textil, en hoteles y en hospitales; estos últimos utilizan gran cantidad de vapor para realizar el auto cableado (esterilización de materiales).

2.1.2. Tipos de calderas

Las calderas actualmente más utilizadas son las pirotubulares y acuotubulares a continuación se describen cada una de ellas.

2.1.2.1. Pirotubulares

En este tipo de calderas el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula gases a alta temperatura producto de un proceso de combustión.

Ventajas:

- Capacidad de soportar fluctuaciones de cargas bruscas y grandes, produciéndose sólo ligeras variaciones en la presión debido a la gran cantidad de agua almacenada.
- Bajo costo inicial.
- Bajo costo de mantenimiento.

- Simplicidad de la instalación que sólo exige la cimentación y el interconectado de la caldera a las redes de agua, vapor, combustible y electricidad de la fábrica.
- Las calderas compactas son más baratas en costo inicial que las acuotubulares para la producción de vapor de hasta 25 ton/h. En condiciones óptimas y a la máxima carga, pueden alcanzar un rendimiento de hasta el 90% o más, superior normalmente al de las calderas acuotubulares.

2.1.2.2. Acuotubulares

Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza a través de tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida, y gran capacidad de generación.

Ventajas:

- La caldera de tubos de agua tiene la ventaja de poder trabajar a altas presiones dependiendo del diseño hasta 350 psi.
- Se fabrican en capacidades de 20 HP hasta 2 000 HP.
- Por su fabricación de tubos de agua es una caldera INEXPLOSIBLE.
- La eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo, ya que se fabrican de 3, 4 y 6 pasos dependiendo de la capacidad.
- El tiempo de arranque para producción de vapor a su presión de trabajo no excede los 20 minutos.
- Los equipos son fabricados con materiales que cumplen con los requerimientos de normas.

- Son equipos tipo paquete, con todos sus sistemas para su operación automática.
- Son utilizados quemadores ecológicos para combustóleo, gas y diesel.
- Sistemas de modulación automática para control de admisión aire-combustible a presión.
- El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento. El vapor húmedo producido por una caldera de tubos de humo contiene un porcentaje muy alto de agua, lo cual actúa en las paredes de los sistemas de transmisión como aislante, aumentando el consumo de vapor hasta en un 20%.

2.2. Diagnóstico de la situación actual

El Ingenio La Unión cuenta con siete calderas bagaceras instaladas actualmente, las cuales son empleadas para la generación de energía eléctrica. El rendimiento de las calderas en la época de zafra se observó como un funcionamiento normal en base a parámetros manejados en el departamento de generación.

Debido a que el ingenio maneja la política de mejora continua en sus procesos productivos, este busca mejorar la manipulación de los desechos producidos en la quema de bagazo en el hogar de las calderas.

2.2.1. Descripción del proceso actual

El agua que pasa por medio de un circuito cerrado en las calderas inicia en el sistema de clarificación, esta es agua que contiene ceniza de los lavadores de gases, (*scrubbers*) y de los ceniceros de las calderas, los cuales son recibidos en un canal, juntamente con el agua de reposición. En seguida toda esa agua pasa por uno o dos de los *Cush-Cush*, cayendo en el tanque de agua de ceniza, (tanque de agua sucia). Los sólidos que se quedan retenidos en el *Cush-Cush*, son transportados por conductores hacia la tolva de ceniza.

En el tanque de agua de ceniza, el agua sucia es bombeado por las bombas para la caja de entrada de los decantadores de ceniza. En la salida de esas cajas el agua sucia recibe la adición de polímero floculante, preparado en respectivo, y dosificado por las bombas de polímero floculante.

Después de la etapa de floculación de la ceniza, el agua sucia sigue dentro de los decantadores de ceniza hasta las cámaras de decantación, donde los flóculos de ceniza sedimentan en el fondo de los tanques formando el lodo. Mientras, el agua tratada sigue por la superficie hasta el final de los tanques, rebasando a través de los vertederos para el tanque de agua limpia.

El agua del tanque de agua limpia es bombeada por las bombas de agua limpia, la cual va devuelta para los lavadores (*scrubbers*) y ceniceros de las calderas.

El lodo decantado es retirado continuamente por gravedad por el fondo de los decantadores de ceniza, para el canal de alimentación del *Cush-Cush* de lodo, con un flujo pre-ajustado manualmente en las válvulas de fondo de los decantadores. El lodo retenido por el *Cush-Cush*, sigue para el transportador

conductor, que lo transporta hasta la tolva de lodo, donde es retirado por camión, mientras que la corriente líquida que pasó por el *Cush-Cush*, regresa por gravedad hacia el tanque de agua ceniza donde es reciclada para el proceso.

El proceso del sistema de clarificación llega a colapsar en época de zafra debido a que el agua del circuito cerrado con que se trabaja llega a los decantadores con demasiados desechos. El sistema no se da abasto y colapsa.

La solución inmediata que se le daba a este sistema en las zafras anteriores era abrir las válvulas de paso de agua de ceniza, descargándolas hacia el río más cercano del ingenio llamado Petayá, esta solución es un problema a largo plazo debido a que se contamina el río dañando con esto las regiones aledañas al lugar y corriendo el riesgo de ser multados por alguna demanda, impuesta por el Ministerio de Ambiente, pudiendo traer como consecuencia incluso hasta la clausura del ingenio.

2.2.2. Diagrama Causa-Efecto

El análisis siguiente se realizó en base al problema principal que se está dando en el sistema de clarificación, por la sobresaturación del agua que proviene de calderas. La información se obtuvo a través de charlas con ingenieros, supervisores del área e información proporcionada también por operarios del área de clarificación.

Actualmente el ingenio, en el área de fábrica tiene el problema del sistema de clarificación, debido a que este sistema está siendo ineficiente por la saturación de desechos que se descargan en el río Petaya por ello se desea

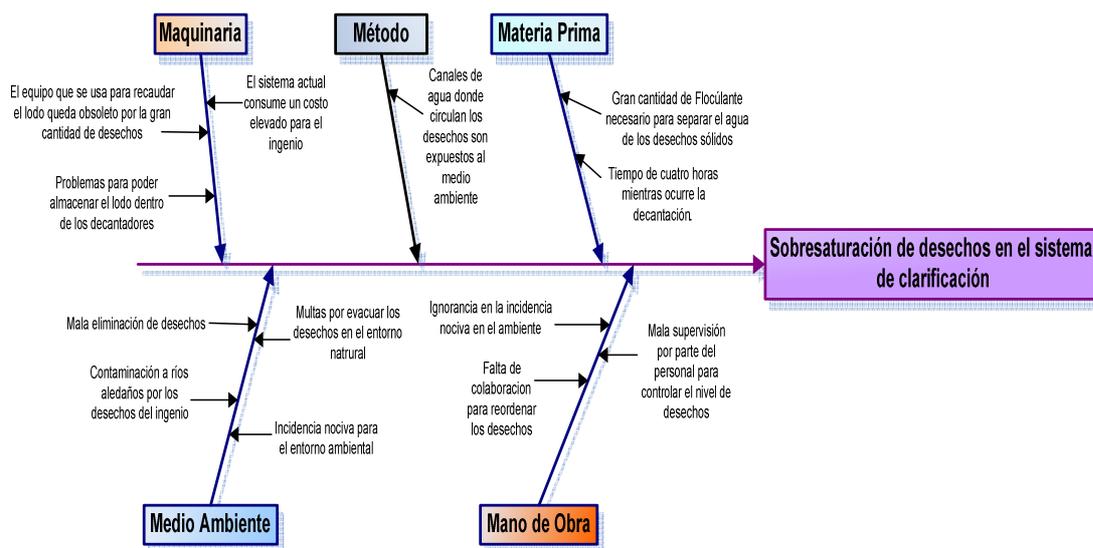
hacer el cambio en el área de calderas, colocando un nuevo sistemas para la recolección de ceniza en los ceniceros frontal y trasero de cada caldera.

Los químicos con que trabaja el sistema de clarificación poseen un alto costo para el ingenio, debido a que si es mayor la cantidad de desechos, mayor será la cantidad de floculante que utilizará el sistema, teniendo como consecuencia un costo elevado y un tiempo de decantación muy tardado.

El medio ambiente también es un factor importante para disminuir la carga de este sistema, debido a que cuando se sobresatura, colapsa el sistema y descarga en el río Petayá, causando daños a los seres vivos que viven allí. Además también se corre el riesgo de demandas por el Ministerio del Medio Ambiente.

En la siguiente figura se muestra un diagrama causa-efecto y el problema principal del sistema de clarificación.

Figura 3. Diagrama de Causa-Efecto. Sobresaturación del sistema de clarificación del agua de calderas



Fuente: elaboración propia.

El diagrama anterior muestra de forma puntual y clara el principal problema que se está generando dentro del ingenio en el sistema de clarificación y cuales son las posibles causas y sub-causas que lo están generando, basándose en un análisis cualitativo y cuantitativo por datos recabados dentro del departamento de calderas y de clarificación.

2.2.3. Tipos de calderas con las que trabaja el ingenio

El desarrollo de la tecnología de combustión de calderas, el aumento de parámetros de vapor y la capacidad, hacen que hoy existan diferentes tipos de calderas para bagazo, las cuales se dividen en las siguientes:

- Calderas de tubos rectos
- Calderas de tubos curvos
- Calderas de dos domos
- Calderas radiantes

Actualmente las calderas del ingenio se caracterizan por trabajar con alimentadores de dos tambores rotativos. Las calderas comenzando en la número tres y terminando en las siete son calderas de tubos curvos.

La caldera de tubos curvados ofrece frente a los tubos rectos, muchas ventajas, entre las que se destacan las siguientes:

- Mayor economía en su fabricación y operación, debido al uso de soldadura, aceros mejorados, construcción de paredes de agua y nuevas técnicas de fabricación.
- Mejor acceso para inspección, limpieza y servicios de mantenimiento.
- Trabaja con mayor capacidad de evaporación y entrega de vapor más seco.

Los elementos primordiales de que se compone la caldera acuotubular con tubos curvados, están formados esencialmente por domos (o domos y cabezales), interconectados por medio de tubos curvados. Está dotada de un horno refrigerado por el agua que circula por dentro de los tubos que conforman las paredes.

En las unidades modernas de tubos curvados, la capacidad se mantiene en una proporción menor de 29,756 kg. de vapor por hora, por metro de ancho de caldera. Por pie de ancho de caldera, considerando exclusivamente la superficie que absorbe el calor radiante.

Las calderas pequeñas de tubos de agua curvados han sido bastante bien estandarizadas, reduciéndolas a un número relativamente escaso de tipos. Las calderas más populares son de dos y tres domos, de altura reducida, las inclinadas de dos domos, las del tipo "O", de dos domos y de las de tres domos del tipo "A", así como las de diferentes construcciones tipo paquete.

Las calderas de tubos curvados presentan una gran flexibilidad en el diseño, sobre todo en relación con la disposición del domo, ya que los tubos se insertan radial a este. El tubo curvado permite también la libre expansión y contracción. Las unidades de gran capacidad con supercalentadores de superficie extremadamente grandes, suelen tener una sección pequeña de superficies de convección que protege al supercalentador de las altas temperaturas, producidas por la combustión de los combustibles en el hogar en la caldera.

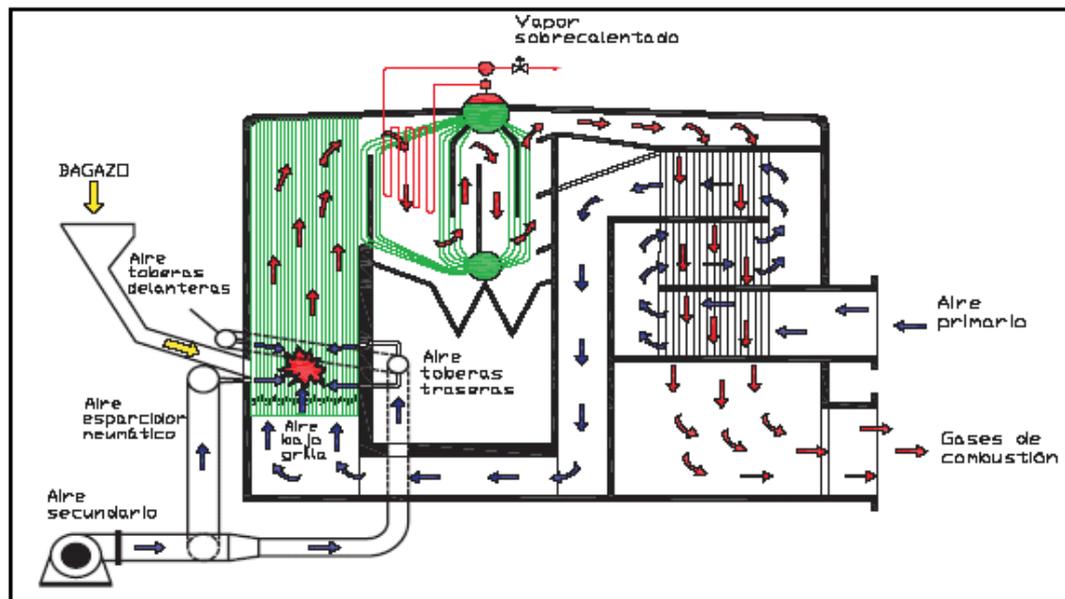
Los domos de las calderas acuatubulares están protegidos contra el calor radiante de la combustión, y se diseñan de tal manera, que los sedimentos se depositen fuera de la zona de circulación rápida. El aumento de la capacidad de la caldera es obtenible, sin aumentar los diámetros de los domos; la falla en uno de los tubos no necesita forzosamente causar una explosión seria. La caldera de tubos curvados es un vaporizador rápido; su reacción a las fluctuaciones de la carga es rápida por su volumen relativamente reducido.

Actualmente el ingenio cuenta con siete calderas bagaceras de las cuales únicamente cinco se encuentran funcionando de forma regular, el funcionamiento de estas calderas es normal y se considera eficiente debido a que en época de zafra casi no existen paradas por desperfectos en ellas. El problema actual está siendo generado debido a los desechos que emanan las calderas, los cuales son recolectados por canales de agua y conducidos hacia un sistema llamado clarificador, el cual actualmente se encuentra trabajando de forma ineficiente debido a la sobresaturación de desechos que llegan hacia el.

Dada esta situación es necesaria hacer la modificación en la recolección de desechos, encontrando como solución la instalación de un sistema que recolecte los desechos de las calderas en seco, ya no considerando la vía húmeda.

A continuación en la siguiente figura se muestra una caldera acuotubular trabajando en condiciones normales, quemando bagazo en su operación normal.

Figura 4. Diseño de caldera de vapor acuatubular que quema bagazo como combustible



Fuente: www.scielo.org.ar.

2.2.3.1. Partes que conforman una caldera

Debido que el sistema de recolección en seco de desechos se instalará en los ceniceros de las calderas es muy importante verificar el estado en que se encuentra cada una de las partes principales dentro de la caldera. Esta inspección se realizará para que en tiempo de reparación, cuando finalice la zafra se hagan los cambios de equipos y limpieza que se consideren necesarios en el interior de la caldera.

Las calderas del ingenio están conformadas por las siguientes partes:

Alimentadores. Actualmente cada una de las calderas del ingenio cuenta con dos alimentadores rotativos de bagazo, los cuales son impulsados por un motor reductor. Al momento de realizar el mantenimiento en las calderas una vez finalizada la época de zafra, se observó el estado de los alimentadores, estos son sustituidos de forma periódica para evitar paros no programados en las calderas en tiempo de zafra. La función de este sistema es recibir el material de combustión (bagazo), el cual es alimentado por los conductores alimentadores.

Este sistema introduce el combustible y lo distribuye hacia el interior de la caldera por medio de inyectores de aire. El aire utilizado para dar impulso al combustible, proviene de los precalentadores, que mantiene la temperatura de la caldera y su eficiencia en operación.

Quemadores. El propósito principal de un quemador es mezclar y dirigir el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa. Cuenta con características de diseño significativo de un quemador, que incluyen la relación de reducción, estabilidad y diseño de la llama. Al momento de realizar la inspección en los quemadores de las calderas se determinó que se encontraban en un estado aceptable para resistir un tiempo de funcionamiento completo para la época de zafra.

Hogar de una caldera acuotubular. Es la cámara donde se efectúa la combustión. La cámara confina el producto de la combustión y puede resistir las altas temperaturas que se presentan y las presiones que se utilizan. Sus dimensiones y geometría se adaptan a la velocidad de liberación del calor, el tipo de combustible y al método de combustión, de tal manera que se haga lo

posible por tener una combustión completa y se proporcione un medio apropiado para eliminar la ceniza.

Los hornos difieren en tamaño y forma, en la localización y esparcimiento de los quemadores, en la disposición de la superficie absorbente del calor y de la distribución de los arcos y tolvas. La forma de la llama y su longitud afectan la geometría de la radiación, la velocidad y distribución de absorción del calor.

Al momento de realizar el mantenimiento preventivo se observó que el daño ocurrido en el hogar de las calderas en tiempo de trabajo era moderado, por lo que se procedió a realizar los trabajos de mantenimiento.

Sistemas de tuberías de vapor y agua. Las calderas son equipos que convierten el agua líquida en vapor, transfiriendo el calor liberado en un proceso de combustión al agua. Las calderas reciben agua de alimentación, la cual es constituida por una proporción variable de agua condensada y agua de reposición.

Cuando el agua se evapora, las impurezas que contiene se concentran progresivamente en el agua líquida que permanece en la caldera. Para controlar la concentración de estas sustancias, parte del agua de la caldera se purga y es reemplazada por agua de alimentación con un menor contenido de impurezas.

Para la época de reparación se verificó la tubería de cada una de las calderas, donde se pudo observar que era necesario efectuar cambios en las tuberías, para evitar paros en época de zafra azucarera.

Sobrecalentadores de vapor (*superheater*). Es básicamente un intercambiador de calor gases-vapor, diseñado para tener en cuenta las particularidades de su trabajo con gases de combustión.

El objetivo es conseguir un vapor a alta temperatura que no sufra problemas de condensación en su camino desde la caldera hasta el proceso. Se verificó que el estado actual de los *superheater* al terminar el tiempo de zafra no era deficiente, por lo que se procedió a efectuar el mantenimiento preventivo correspondiente.

Domos de agua y vapor. Las calderas se componen de dos colectores o domos a los que van a conectar todos los tubos de la caldera, con dos o más columnas de circulación natural, según sea el tamaño de la caldera.

La configuración de la caldera es de hogar de pared de tubos y retorno en la parte posterior del hogar, para pasar al segundo paso y giro en la parte anterior, para entrar en el tercer paso de humos y de ahí la salida a la chimenea.

El estado actual de los domos en las calderas se encontró en condiciones normales, ya que en época de reparación se revisan todas las partes de las calderas incluyendo los domos, dándoles el mantenimiento correspondiente.

2.2.3.2. Sistemas auxiliares de una caldera

Los sistemas auxiliares comprendidos en una caldera acuotubular son:

Economizadores. Es básicamente un intercambiador de calor gases-agua, diseñado teniendo en cuenta las particularidades de su trabajo con gases de

combustión y aplicando la tecnología de las superficies extendidas. El economizador, instalado en una caldera, consigue aprovechar el calor residual de los gases de combustión, traspasándolo al agua de alimentación de la caldera, con lo que se consigue reducir el consumo de combustible y mejorar el rendimiento de manera considerable.

La revisión en los economizadores para la época de reparación es mínima ya que estos son conductos que no sufren mayor desgaste para la época de zafra. Los ingenieros consideran que su tiempo de uso es de once años.

Pre calentadores. Se trata de un elemento que recupera calor sensible de los gases de salida de una caldera para aumentar la temperatura del fluido de alimentación de la misma.

Son revisados para época de reparación, a estos se les considera una revisión mínima debido a que no sufren mayor desgaste en su trabajo.

Separadores de hollín. Son ductos de pasos, en el lado del fuego tienen la tendencia a la acumulación de hollín y ceniza volátil. Para disgregar esos materiales producidos por la combustión, se emplean boquillas para lanzar chorros de aire o vapor permanentemente instalados.

Son revisados en época de reparación, se evalúan los dispersores cambiándolos si fuese necesario, para quedar completamente listos para el inicio de zafra.

Aire Secundario. Durante la combustión en capa del bagazo (el bagazo se acumula formando una capa o lecho sobre la parrilla), las sustancias volátiles se queman a cierta altura sobre ésta, desprendiéndose alrededor del 50% del

calor total de la combustión. Debido a ello es importante inyectar aire en dicha zona; este aire se denomina aire secundario y equivale a un porcentaje del aire total necesario para la combustión (aire primario). Estos ventiladores son inspeccionados para época de reparación, su mantenimiento es mínimo debido a que no sufren mayor desgaste en tiempo de zafra.

Clarificador de agua. El agua conteniendo partículas de material proveniente de los lavadores de gases (*scrubbers*) y ceniceros de las calderas, son recibidos en un canal abierto, la que fluye por gravedad hacia el clarificador. Toda esta agua pasa por uno o los dos conductores filtros existentes, en donde se filtra o separa el agua y toda la ceniza o partículas de material grueso que viene de los *scrubbers* y ceniceros de las calderas. todos estos sólidos son transportados por los conductores hacia la tolva de desechos.

Actualmente el sistema de clarificación colapsa en tiempo de zafra debido a la sobre saturación de desechos provenientes de las calderas, encontrándolo en condiciones deficientes.

Agua de enfriamiento. Los sistemas de refrigeración disponen de torres de refrigeración cuya misión es la de disipar a la atmósfera el calor ganado al aire en las unidades de refrigeración.

El agua, que ha absorbido el calor del aire a enfriar, es expulsada a través de las boquillas que se encuentran en la parte superior de la torre y va descendiendo por unas placas que facilitan el intercambio térmico entre el agua y el aire que se mueve a contracorriente al flujo de agua, dando como resultado un enfriamiento de la misma debido a la evaporación.

El agua es recogida en un depósito desde donde es enviada de nuevo a los circuitos de refrigeración.

Este sistema es inspeccionado en tiempo de reparación. Se efectúan cambios en las boquillas dispersoras si es considerado necesario y se elaborara el mantenimiento preventivo correspondiente.

Aire comprimido. Es un gas incoloro, insípido e inodoro. Es una mezcla de gases. El principal uso del aire comprimido es proveer aire de combustión.

2.2.3.3. Sistemas de protección de una caldera

Los sistemas necesarios para proteger a una caldera acuatubular de cualquier desperfecto mecánico son:

Válvulas de seguridad. Es un elemento obligatorio, impuesto por ley, que limita la presión máxima del vapor en la caldera. Se deben encontrar en óptimas condiciones antes de que empiece a trabajar la caldera.

Si bien en la instalación hay varias colocadas en la misma, por lo menos una de ellas debe ser tipo a contrapeso. El contrapeso se coloca a la distancia adecuada para que su momento estático equivalga al momento de la fuerza efectuada por el vapor contra la válvula. Si la fuerza ejercida por la presión del vapor crea un momento mayor que el contrapeso, entonces la válvula se abre, aliviando las fuerzas creadas por el vapor, internas en la instalación.

Controles de nivel. Es un dispositivo para conectar y desconectar a la bomba de alimentación de agua, desconectar el quemador al bajar el nivel y accionar la alarma de bajo. Este dispositivo trabaja de forma eficiente para cada una de las calderas, es inspeccionado y cambiado si fuese necesario.

2.2.4. Especificaciones para calderas del Ingenio

Los siguientes numerales son datos que corresponden a parámetros de operación en las calderas. Son datos durante la operación en zafra 2009-2010, trabajando bajo condiciones normales de carga. Esta información fue obtenida de los registros de operación.

Estos parámetros son muy importantes ya que indican si la combustión dentro de la caldera se está efectuando de una manera eficiente y sin ningún problema.

2.2.4.1. Flujo de vapor

El flujo de vapor representa el vapor del agua de salida de la caldera, el cual es vapor saturado, es decir, el equilibrio del agua líquida y la presión de trabajo. El flujo de vapor es directamente proporcional al tamaño del hogar de la caldera, al mantenimiento de las paredes refractarias del hogar y a la mezcla de combustión.

Para caldera No. 3: flujo de vapor = 180 000 libras/hora

Para caldera No. 4: flujo de vapor = 150 000 libras/hora

Para caldera No. 5: flujo de vapor = 150 000 libras/hora

Para caldera No. 6: flujo de vapor = 250 000 libras/hora

Para caldera No. 7: flujo de vapor = 150 000 libras/hora

2.2.4.2. Presión de vapor

Es la presión necesaria para producir vapor de agua en la salida de la caldera. A continuación se observa los datos medidos por la celda de presión de vapor instalada en cada una de las calderas.

Para caldera No. 3: presión de vapor = 400 psi

Para caldera No. 4: presión de vapor = 600 psi

Para caldera No. 5: presión de vapor = 600 psi

Para caldera No. 6: presión de vapor = 850 psi

Para caldera No. 7: presión de vapor = 600 psi

La figura 5 muestra un medidor de presión de vapor utilizado en las calderas del ingenio.

Figura 5. Medidor de presión de vapor de la caldera



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.3. Temperatura de vapor

La producción del flujo de vapor se rige en base a la presión de vapor y la temperatura de vapor de la caldera, debido a que la presión y la temperatura son directamente proporcionales. Estos datos obtenidos son de suma importancia, debido a que indican cual será el calor que será transmitido hacia las turbinas para poder llevar acabo en proceso de generación de energía.

Para caldera No. 3: temperatura de vapor = 650 °F

Para caldera No. 4: temperatura de vapor = 750°F

Para caldera No. 5: temperatura de vapor = 750°F

Para caldera No. 6: temperatura de vapor = 900°F

Para caldera No. 7: temperatura de vapor = 750°F

A continuación la siguiente figura muestra un medidor de temperatura de vapor utilizado en las calderas.

Figura 6. Medidor de temperatura de vapor de la caldera



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.4. Flujo, presión y temperatura del agua de alimentación

Los siguientes datos fueron registrados por la celda de flujo del agua de alimentación, los cuales corresponden al flujo de agua que ingresa a la caldera, para llegar a cabo la combustión.

Para caldera No. 3: flujo de agua = 250 a 350 galones/minuto

Para caldera No. 4: flujo de agua = 200 a 400 galones/minuto

Para caldera No. 5: flujo de agua = 200 a 400 galones/minuto

Para caldera No. 6: flujo de agua = 300 a 450 galones/minuto

Para caldera No. 7: flujo de agua = 200 a 400 galones/minuto

En la figura 7 se observa un medidor de flujo de agua de alimentación de una caldera.

Figura 7. Medidor de flujo de agua de alimentación



Fuente: Ingenio La Unión.

La calidad del agua de alimentación a la caldera repercute directamente sobre el buen funcionamiento de la misma. El flujo de agua depende del valor

de la presión del agua de alimentación, por ello es importante inspeccionar los parámetros con los que se encuentran trabajando las calderas.

Para caldera No. 3: presión del agua de alimentación = 450 psi

Para caldera No. 4: presión del agua de alimentación = 650 a 750 psi

Para caldera No. 5: presión del agua de alimentación = 650 a 750 psi

Para caldera No. 6: presión del agua de alimentación = 900 a 1 200 psi

Para caldera No. 7: presión del agua de alimentación = 650 a 750 psi

A continuación la figura 8 muestra un medidor de presión de agua de alimentación para una caldera.

Figura 8. Medidor de presión del agua de alimentación de la caldera



Fuente: Ingenio La Unión.

La importancia de llevar un registro de la temperatura a la que trabaja el agua de alimentación en la caldera, es evitar problemas como corrosión e incrustación. Actualmente en el ingenio existe un medidor de temperatura del agua de alimentación para cada una de las calderas.

Para caldera No. 3: temperatura del agua de alimentación = 240 °F

Para caldera No. 4: temperatura del agua de alimentación = 250 °F

Para caldera No. 5: temperatura del agua de alimentación = 250 °F

Para caldera No. 6: temperatura del agua de alimentación = 350 °F

Para caldera No. 7: temperatura del agua de alimentación = 250 °F

La figura 9 muestra un medidor de temperatura de agua de alimentación.

Figura 9. Medidor de temperatura del agua de alimentación



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.5. Flujo, temperatura, presión de aire de combustión

El flujo de aire depende de la curva de aire-combustible, este valor está en constante variación porque depende de las demandas de vapor y eficiencia de la caldera. Por este motivo no existen datos de parámetros registrados para las calderas.

La temperatura del aire de combustión es importante debido a que si el aire en el hogar de la caldera es inferior al que el combustible requiere, se

produce una combustión incompleta: humo negro, inquemados, monóxido de carbono. Los siguientes datos se obtuvieron por el medidor de temperatura instalado en cada una de las calderas. La figura 10 muestra un medidor de temperatura de aire de combustión de las calderas.

Para caldera No. 3: temperatura del aire de combustión = 340 °F

Para caldera No. 4: temperatura del aire de combustión = 340 °F

Para caldera No. 5: temperatura del aire de combustión = 340 °F

Para caldera No. 6: temperatura del aire de combustión = 340 °F

Para caldera No. 7: temperatura del aire de combustión = 340 °F

Figura 10. Medidor de temperatura de aire de combustión



Fuente: elaboración propia.

La presión del aire de combustión es conocida comúnmente como tiro y se suele expresar en milímetros o pulgadas de agua. Su medición se hace por encima o por debajo de la presión atmosférica. El tiro es necesario para el buen funcionamiento del hogar de la caldera, con el fin de poderle suministrar el aire necesario para la combustión y arrastrar los gases quemados hacia el exterior

através de la chimenea. Ver figura 11 un medidor de presión de aire de combustión.

Para caldera No. 3: presión del aire de combustión = 3,2" H₂O Presión en la caja de aire.

Para caldera No. 4: presión del aire de combustión = 3,2" H₂O Presión en la caja de aire.

Para caldera No. 5: presión del aire de combustión = 3,2" H₂O Presión en la caja de aire.

Para caldera No. 6: presión del aire de combustión = 3,2" H₂O Presión en la caja de aire.

Para caldera No. 7: presión del aire de combustión = 3,2" H₂O Presión en la caja de aire.

Figura 11. Medidor de presión de aire de combustión (tiro forzado)



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.6. Temperatura, presión de gases de salida

La temperatura de los gases de salida representa los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor. Los siguientes datos son los parámetros requeridos a los que debe trabajar la caldera. La siguiente figura muestra un medidor de temperatura de los gases de salida en la chimenea de las calderas.

Para caldera No. 3: temperatura de gases de salida = 340 °F

Para caldera No. 4: temperatura de gases de salida = 340 °F

Para caldera No. 5: temperatura de gases de salida = 340 °F

Para caldera No. 6: temperatura de gases de salida = 340 °F

Para caldera No. 7: temperatura de gases de salida = 340 °F

Figura 12. Medidor de temperatura de gases de salida de la chimenea de la caldera



Fuente: Ingenio La Unión.

La presión de los gases de salida es medida a la salida de la caldera por medio del medidor de presión. A continuación parámetros con los que trabajan las calderas.

Para caldera No. 3: presión de gases de salida = -0,402" de H₂O

Para caldera No. 4: presión de gases de salida = -0,402" de H₂O

Para caldera No. 5: presión de gases de salida = -0,402" de H₂O

Para caldera No. 6: presión de gases de salida = -0,402" de H₂O

Para caldera No. 7: presión de gases de salida = -0,402" de H₂O

Figura 13. Medidor de presión del hogar, gases de salida



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.7. Tipos de alimentadores de bagazo

Alimentadores son dos elementos rotativos impulsados por un motor reductor con variador de frecuencia. Estos tambores fueron cambiados en la

reparación pasada y con ello se logró incrementar considerablemente la eficiencia de las calderas.

Figura 14. Vista lateral de los tambores rotativos de los alimentadores



Fuente: Ingenio La Unión.

2.2.4.8. Flujo de bagazo quemado en el hogar de la caldera

Los siguientes datos representan el bagazo quemado en el hogar de las calderas, el cual es removido actualmente por canales de agua que pasan a través de los ceniceros de las calderas.

Para caldera No. 3: flujo de bagazo quemado en el hogar = 30,34 ton/h

Para caldera No. 4: flujo de bagazo quemado en el hogar = 33,01 ton/h

Para caldera No. 5: flujo de bagazo quemado en el hogar = 28,88 ton/h

Para caldera No. 6: flujo de bagazo quemado en el hogar = 46,72 ton/h

Para caldera No. 7: flujo de bagazo quemado en el hogar = 24,89 ton/h

2.2.5. Diseño de calderas en la situación actual

El sistema de limpieza de las calderas instaladas en ingenio cuenta con las siguientes partes:

Agua proveniente de las calderas. Para la limpieza de ceniceros, es común la utilización de la vía húmeda, donde el agua es el vehículo de transporte de los sólidos. Cuando la operación es hecha en circuito cerrado, el agua con los residuos removidos de los ceniceros debe pasar por un sistema complementario de tratamiento para limpieza, y así evitar problemas de bloqueo en las tuberías, además del desgaste de tuberías y equipos.

Figura 15. Canal de agua con ceniza saliendo de la caldera



Canal de agua del cenicero frontal

Fuente: Ingenio La Unión.

Los sistemas de limpieza de gases que utilizan la vía húmeda (lavadores de gases o *scrubbers*) son de concepción simple, bajo costo de inversión, y

presentan gran eficiencia de limpieza de los gases. En estos sistemas, la limpieza de los gases es hecha con agua limpia bombeada por medio de boquillas aspersores en las cámaras de pasaje de los gases.

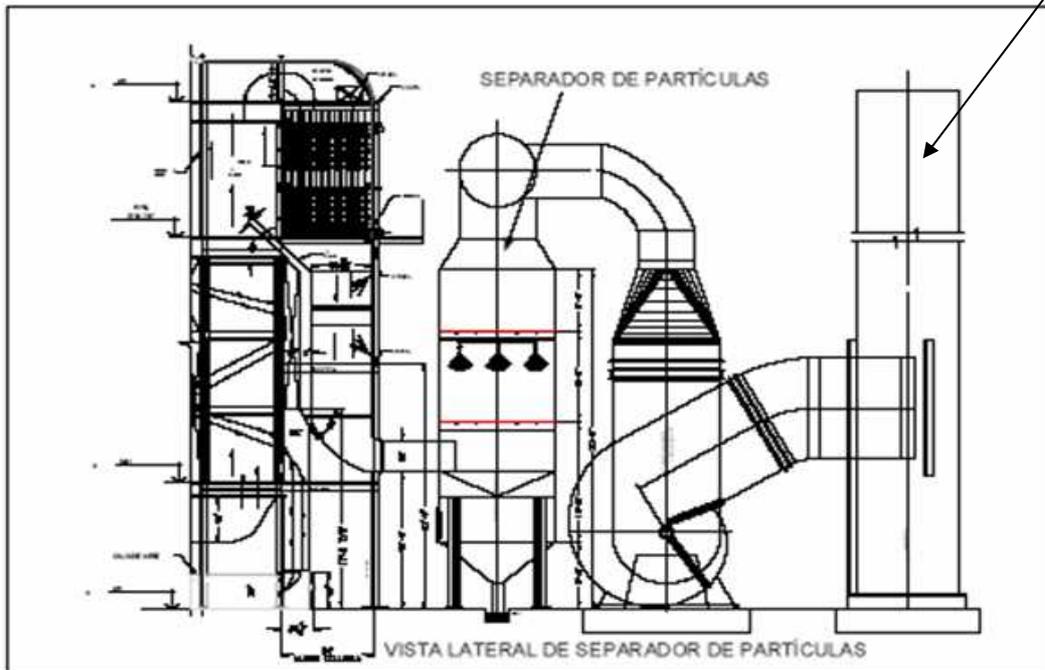
En el caso de operación en circuito cerrado, el agua con residuos debe ser reciclada después de pasar por un sistema de tratamiento para remoción de sólidos, en forma de no provocar problemas de bloqueo en las boquillas lavadoras y desgaste de tuberías y equipos.

Aunque la opción de limpieza vía húmeda, tanto para la limpieza de gases cuanto para la limpieza de ceniceros, sea considerada la más adecuada con relación a los costos y a la eficiencia, topa en la necesidad de contar con un proceso efectivo para la remoción de los sólidos del agua y, de esta forma, posibilitar su recirculación.

Debido a que es importante una recirculación del agua en el ingenio, se presenta un sistema de clarificación por donde circula el agua con ceniza de los ceniceros de las calderas y de los *scrubbers*. La siguiente figura muestra la vista lateral del sistema Separador de Partículas (*scrubbers*).

Figura 16. Sistema Separador de Partículas (*scrubbers*)

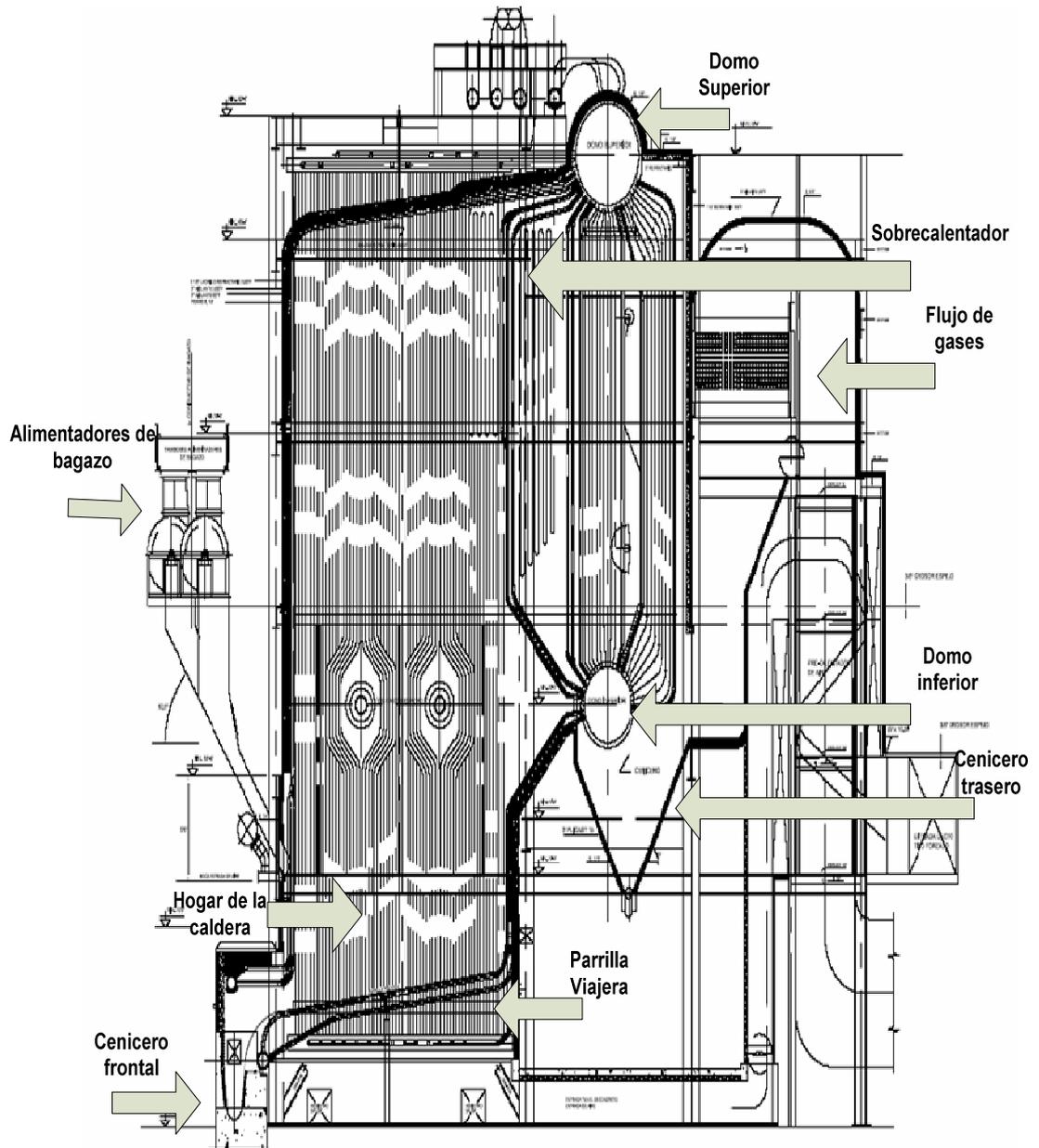
Chimenea (salida de gases)



Fuente: tesis Ing. Celver Danilo Cárdenas Ruano, p. 111.

En las calderas acuotubulares el agua pasa por el interior de los tubos y los gases calientes producto de la combustión, pasan por el exterior, a fin de transferir el calor necesario para elevar la temperatura y llevar a su punto de ebullición dicho líquido. La figura 17 muestra el esquema donde se visualizan las partes más importantes de una caldera acuotubular de dos domos.

Figura 17. Diseño de caldera bagacera (situación actual)

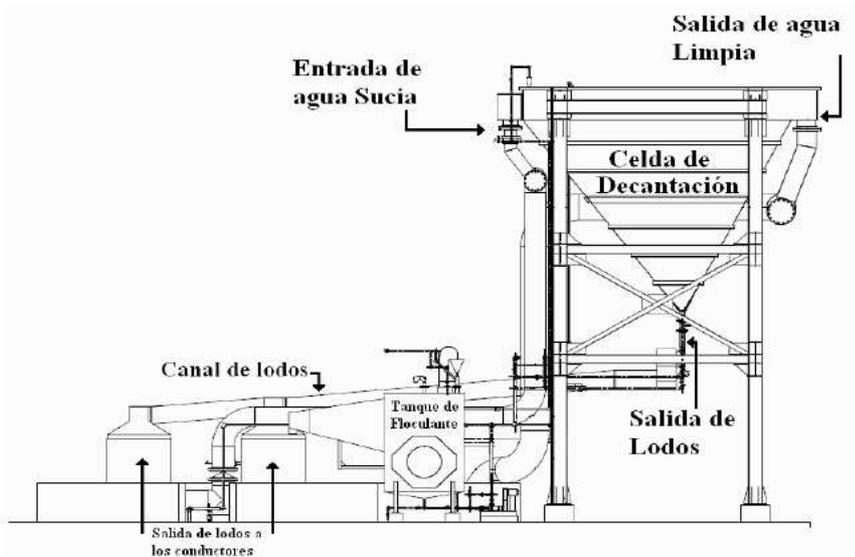


Fuente: elaboración propia.

El sistema que opera en circuito cerrado, con el retorno del agua tratada exenta de sólidos a los lavadores y ceniceros, se llama sistema de clarificación. Es allí donde se eliminan riesgos de tупición en los canales de agua y desgaste por abrasión en las boquillas aspersoras de los *scrubbers*.

El sistema es compacto, pudiendo ser proyectado para operar en cualquier rango de caudal. La celda de decantación y el floculante administrado es muy importante para el sistema de clarificación debido a que separan las partículas del material en el agua constituyente de ceniza, conjuntamente con la arena y el bagacillo mal quemado de la combustión de las calderas que operan en el ingenio. De esa manera se logra eliminar estos contaminantes, para luego dar a esta agua su clarificación efectiva, por medio de las celdas de decantación.

Figura 18. Diagrama de decantación de desechos en el sistema de clarificación



Fuente: manual del sistema de clarificación del Ingenio La Unión.

2.3. Propuesta del sistema de recolección en seco

El nuevo sistema de recolección en seco, consiste en transportadores helicoidales colocados en los ceniceros frontal y trasero de las calderas de bagazo. Este es uno de los métodos más sencillos y más antiguos para transportar materiales. El material colocado en el cuerpo del transportador a través de las aberturas de entrada, se mueve a lo largo en un suave movimiento en espiral por la rotación del tornillo. Las entradas, salidas, compuertas, transmisiones y otros accesorios controlan el ritmo de transporte del material y el lugar de descarga.

El nuevo sistema que se utilizará para recolectar los desechos emitidos por las calderas, se espera que optimice el proceso de clarificación del agua de lavado de los gases de combustión en los separadores de hollín, que se optimice el consumo de agua de inyección en las calderas del Ingenio, la disminución del consumo de floculante para el sistema de clarificación y evitar los derrames al río Petayá (Efluentes).

Por estas razones es importante para el ingenio llevar a cabo este proyecto en la reparación del año 2010, ya que traerá beneficios al ingenio como a las comunidades aledañas a él.

2.3.1. Diseño del nuevo sistema

Para el diseño del nuevo sistema es importante conocer las características del material a transportar, la selección del transportador dependiendo del tamaño y la velocidad, la selección de los bujes y los requisitos para determinar los HP en transportadores helicoidales horizontales. Dependiendo de la

potencia necesaria para mover el transportador helicoidal se determinará el equipo para el sistema de recolección en seco de ceniza en las calderas.

A continuación los cálculos necesarios para determinar la potencia en la implementación del nuevo sistema.

Tabla I. Características del material

Material	Peso lb. Por pies cúbico	Código de material	Selección de rodamiento intermedio	Serie de componentes	Factor de Material F_m	Carga de Artesa
Ceniza de caldera seca	30-45	A40- 36LM	H	3	2,5	30B

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

- El dato de peso por pie cúbico puede ser usado para calcular la capacidad requerida del transportador, ya sea en pies cúbicos por hora o en libras por hora.
- El código del material sirve para describir el material.
- El código de selección de Buje intermedio se utiliza para seleccionar adecuadamente el colgante.
- El código de serie de componentes se utiliza para determinar los componentes adecuados del material.

- El factor de material F_m se utiliza para determinar los HP.
- La columna de carga de Artesa indica el porcentaje adecuado al corte transversal de carga a utilizar para determinar el diámetro y la velocidad del transportador.

Selección del transportador dependiendo del tamaño y la velocidad. La capacidad se proporciona en pies cúbicos por hora a una revolución por minuto para varios tamaños de transportadores helicoidales.

Velocidad del transportador: para transportadores helicoidales con helicoidales que tengan espirales de paso estándar, la velocidad del transportador puede calcularse mediante la fórmula:

$N =$ Capacidad requerida, pies cúbicos por hora / pies cúbicos por hora a 1 revolución por minuto.

$N =$ Revoluciones por minuto del helicoidal

El diámetro del eje del helicoidal frontal es de 14 pulgadas

El diámetro del eje del helicoidal trasero es de 10 pulgadas

**Tabla II. Capacidad de transportadores helicoidales horizontales
(para ceniza)**

Carga de Artesa	Diámetro de helicoide pulgada	Capacidad de pie cubico por hora (paso total)		Max. RPM
		A 1 RPM	A Max. RPM	
30B	14	20,80	1 040	50
30B	10	7,60	418	55

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Selección de Bujes. La selección de materiales de bujes para colgantes intermedios está basada en la experiencia y conocimientos de las características del material a transportar, en este caso se escogieron los bujes de bolas a la temperatura considera en la siguiente tabla.

Tabla III. Selección de bujes para colgantes

Grupo de componentes de bujes	Tipos de bujes	Material para ejes de acoplamiento	Max. Temp. de operación recomendada	F _b
→ B	Bolas (Rodamientos)	Estándar	225°-270°F	1,0
L	Bronce	Estándar	300°F	1,7
S	Bronce	Estándar	850°F	2,0
	Bronce grafito	Estándar	500°F	
	Bronce impreg. aceite	Estándar	200°F	
	Madera	Estándar	160°F	
	impreg. Aceite	Estándar	250°F	
	Nylatron	Estándar	160°F	
	Nylon	Estándar	250°F	
	Teflon	Estándar	225°F	
	UHMW	Estándar	250°F	
	Melamina (MCB)			
H	Hierro duro	Endurecido	500°F	3,4
	Sup.	Endurecido o	500°F	4,4
	Endurecida	especial	500°F	4,4
	Stelita	especial		

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Requisitos para determinar la potencia necesaria en los transportadores Helicoidales Horizontales para el sistema de recolección en seco. Los HP requeridos para operar un transportador helicoidal horizontal está basado en la instalación adecuada, en relación a la alimentación regular y uniforme al transportador.

Los requisitos de HP son el total de los HP que supere la fricción del transportador (HP_f) y los HP para transportar el material a una velocidad específica (HP_m) multiplicado por el factor de sobrecarga F_0 y dividido entre la eficiencia total de transmisión.

$$HP_f = \frac{LNF_dfb}{1\ 000\ 000}$$

(HP para manejar un transportador vacío)

$$HP_m = \frac{CLWFFmFp}{1,000,000}$$

(HP para mover el material)

$$\text{total HP} = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e}$$

Los siguientes factores determinan el requisito de HP de un transportador helicoidal.

L= Largo total del transportador, pies.

N= velocidad de operación RPM (revoluciones por minuto).

- F_d = factor de diámetro de transportador.
- F_b = Factor de buje para colgante.
- C = Capacidad en pies cúbicos por hora.
- $C = N \cdot 20,80$ (Capacidad en pies cúbicos por hora), con un diámetro de 14".
- $C = N \cdot 7,60$ (Capacidad en pies cúbicos por hora), con un diámetro de 10".
- W = Peso del material, libras por pie cúbico.
- F_f = Factor de helicoides.
- F_m = Factor de material.
- F_p = Factor de polea, cuando se requiera.
- F_0 = Factor de sobrecarga.
- e = Eficiencia de transmisión.

Para encontrar la potencia necesaria en los transportadores helicoidales horizontales, se deben hacer los siguientes cálculos.

Tabla IV. Factor del diámetro del transportador

Diám. De helicoidal pulgadas	Factor F_d	Diám. De helicoidal pulgadas	Factor F_d
4	12,0	14	78,0
6	18,0	16	106,0
9	31,0	18	135,0
10	37,0	20	165,0
12	55,0	24	235,0

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

El diámetro del eje del helicoidal frontal es de 14 pulgadas

El diámetro del eje del helicoidal trasero es de 10 pulgadas

Tabla V. Factor para porcentaje de carga de transportador

Tipo helicoide	Factor para porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1,0	1,0	1,0	1,0
Helicoide con corte	1,10	1,15	1,20	1,3
Con corte y dobléz	N.R*	1,50	1,70	2,20
Helicoide de cinta	1,05	1,14	1,20	-

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Tabla VI. Factor de polea F_p

Número de paletas por paso	0	1	2	3	4
F_p	1,0	1,29	1,58	1,87	2,16

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Tabla VII. Factor de eficiencia en transmisiones

Transmisión de helicoidal o montado en eje con transmisión de banda V	Banda V a engrane helicoidal y acoplamiento	Motoreductor con acoplamiento	Motoreductor con transmisión de cadena	Engrane sin fin
0,88	0,87	0,95	0,87	Consultar al fabricante

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Calculando datos para cenicero frontal

$L =$ larga total del transportador, pies = 22 pies

$N =$ velocidad de operación, RPM

$N =$ La velocidad de operación es de 70 RPM

$F_d =$ 78,0

$F_b =$ En este caso puede ser L-S-B; en este caso se utilizará el $B=1$

$C =$ $70 \cdot 20,80 = 1\,433,6 \text{ p}^3/\text{h}$

$W =$ $45 \text{ lb}/\text{p}^3$

$F_f =$ 1,0

$F_m =$ 2,5

$F_p =$ 1,29

$F_o =$ factor de sobrecarga es de 1,1

$e =$ 0,95

Cálculo del HP_f para cenicero frontal (HP para manejar un transportador vacío)

$$HP_f = \frac{22 \cdot 70 \text{ RPM} \cdot 78,0 \cdot 1,0}{1\,000\,000} = 0,1201$$

Cálculo del HP_m para mover el material.

$$HP_m = \frac{1\,433,6 \frac{p^3}{h} \cdot 22 \text{ pies} \cdot \frac{45 \text{ lb}}{p^3} \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,29}{1\,000\,000} = 4,57$$

$$\text{Total HP} = \frac{(0,1201 + 4,57) \cdot 1,1}{0,95} = 5,43 \text{ HP}$$

R/. El rozamiento es mayor que el calculado teóricamente y por eso se utilizará un factor de servicio de 1,5. Por lo tanto se necesita un motor de 7,5 HP para transportar el material, junto con el gusano.

Calculando datos para cenicero trasero

$L =$ largo total del transportador, pies = 20 pies

$N =$ velocidad de operación, RPM

$N =$ 70 RPM

$F_d =$ 37,0

$F_b =$ En este caso 1,0

$C =$ $80 \cdot 7,60 = 608 \text{ p}^3/\text{h}$

$W =$ $45 \text{ lb}/\text{p}^3$

$F_f =$ 1,0

$F_m =$ 2,5

$F_p =$ 1,29

$F_o =$ para este caso = 1, $e = 0,95$

Cálculo de HP_f para cenicero trasero (HP para manejar un transportador vacío)

$$HP_f = \frac{20' \cdot 80 \text{ RPM} \cdot 37 \cdot 1,0}{1\,000\,000} = 0,059$$

Cálculo de HP_m para mover el material

$$HP_m = \frac{608 \frac{p^3}{h} \cdot 20 \text{ pies} \cdot \frac{45 \text{ lb}}{p^3} \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,29}{1\,000\,000} = 1,76$$

$$\text{Total HP} = \frac{(0,059 + 1,76) \cdot 1,6}{0,95} = 3,07 \text{ HP}$$

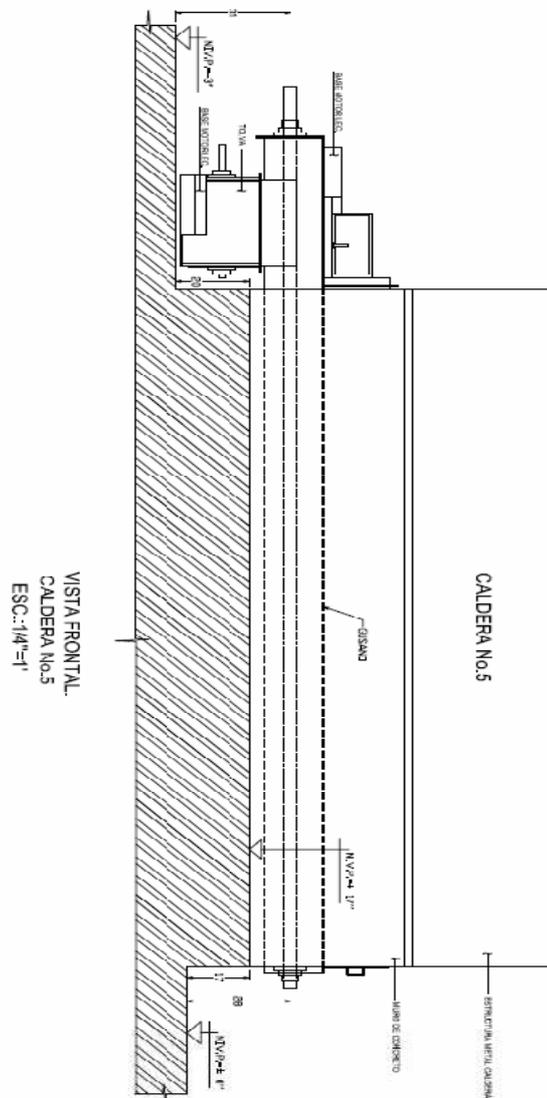
R/ El rozamiento es mayor que el calculado teóricamente, por lo tanto para el gusano trasero se utilizara un factor de servicio de 4. Colocando un motor de 7,5 HP.

2.3.1.1. Elaboración de planos para el nuevo equipo en las calderas

Para la propuesta de la ubicación de los nuevos sistemas de recolección, se tomaron en cuenta las ubicaciones de los ceniceros que se poseen en las calderas. Como también el de las estructuras que se encuentran instaladas actualmente y son necesarias para el funcionamiento correcto de las mismas.

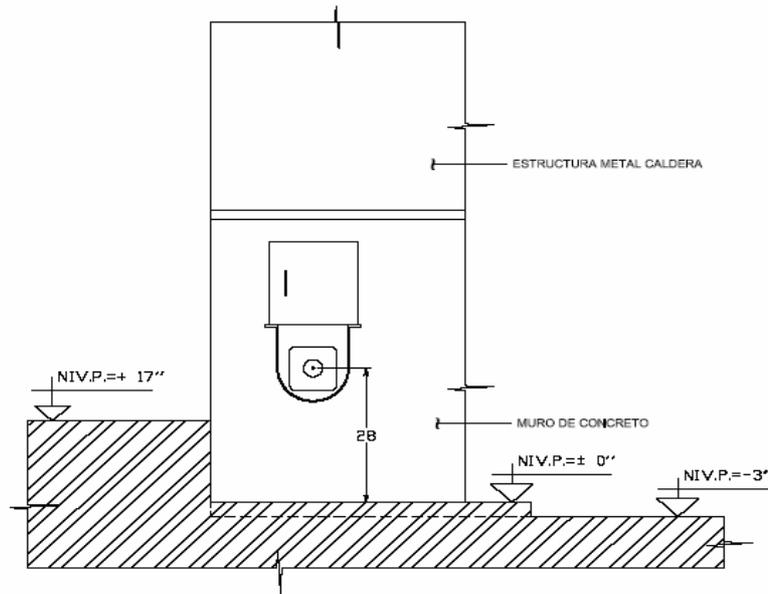
En las figuras que se presentan a continuación se podrá apreciar como se verá el sistema de recolección una vez instalado en los ceniceros, mostrando tanto las elevaciones laterales como también las vistas frontales.

Figura 19. Diseño del sistema de recolección en seco instalado dentro del cenicero de las calderas



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diseño del sistema de recolección en seco de ceniza (vista lateral izquierda)



VISTA LATERAL IZQUIERDA

ESC.:1/2"=1'

Fuente: elaboración propia.

2.3.1.2. Implementación del nuevo sistema para recolección en seco

El nuevo sistema de recolección en seco será implementado en las calderas 3, 4,6 y 7. Este nuevo sistema es muy utilizado en calderas brasileñas, por lo que el ingenio espera en su siguiente zafra contar con el buen funcionamiento del sistema trabajando en seco.

Con este nuevo sistema se espera disminuir la saturación de desechos en el clarificador, mejorar la combustión en las calderas e incrementar la eficiencia en el sistema de lavadores de gases (*scrubbers*).

Beneficios que se esperan obtener: reducir costos en el sistema de clarificación, evitar contaminación a ríos y poblaciones aledaños, reducir contaminación al medio ambiente debido a gases expulsados por las chimeneas de las calderas.

2.3.2. Equipos que integran el sistema de recolección de ceniza en seco

El sistema de recolección en seco esta integrado por los siguientes equipos:

- Motores eléctricos
- Reductores de velocidad
- *Sprockets*
- Cadenas de transmisión
- Chumaceras y cojinetes

A continuación se describirán cada uno de ellos con sus respectivas especificaciones para el sistema.

2.3.2.1. Motor eléctrico

Es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de

combustión. A igual tamaño y peso son más reducidos. Se pueden construir de cualquier tamaño. Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.

Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina). La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica.

Motor necesario para el sistema de recolección en seco. Especificaciones de los motores que se van a instalar en el sistema de recolección en seco; para el cenicero frontal y trasero de las calderas 3, 4, y 7.

- Modelo: 00718EP3E 213T
- FRAME (Es uno de los parámetros que indican detalles físicos de construcción): 213T
- Potencia: HP: 7,5
- Hertz: 60
- Voltios: 460
- RPM: 1 765
- Amperaje : 20,9-19,0
- Diámetro del eje del motor. Eje: 1 7/16 pulgadas
- Cañero: 5/16 * 2 ½ de pulgadas

2.3.2.2. Especificaciones de cajas reductoras

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad. A estos también se le denomina caja reductora.

Reductor de Rodillo

- Marca: SUMITOMO
- Modelo: CHNS-6145 y 5B-29
- RATIO (relación de velocidad, (rpm motor/rpm salida del reductor) : 29
- TORQUE (par) máximo a la salida: 9 980
- Velocidad de entrada: 1 750 rpm
- Velocidad de salida del reductor: 60,34 rpm (velocidad del gusano)
- Diámetro del eje de salida del reductor
- Eje: 1 7/8 de pulgada; cuñero: $\frac{1}{2}$ de pulgada

2.3.2.3. Tipo y tamaño de *sprockets*

Los *sprockets* son mecanismo utilizados para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la mayor se denomina corona y la menor piñón.

El tipo de *Sprockets* utilizado para el sistema de recolección en seco, es el *sprockets* de acero sencillo.

Para cenicero frontal

Para el eje del motorreductor

- Eje de 1" $\frac{1}{2}$
- Cuñero: $\frac{1}{2}''^2$
- Sprockets: 9" * $\frac{3}{4}$ de 20 dientes

Para gusano frontal

- Eje: 3" $\frac{1}{2}$
- Cuñero: $\frac{7}{8}''$
- Sprockets: 15" * $\frac{1}{2}$ de 36 dientes

Sello del gusano frontal

- Eje: 1 $\frac{7}{8}$
- cuñero $\frac{1}{2}''^2$

- Sprockets: 6" * $\frac{3}{4}$ de 12 dientes

Reductor

- Eje: 1 $\frac{7}{8}$
- Cuñero: 1/2²
- Sprockets: 6" * $\frac{1}{2}$ de 13 dientes

Especificaciones de los *Sprockets*.

Para cadena de Rc120

Para el eje del motoreductor: *sprockets* de 20 dientes

Diámetro exterior: 8,640"

Maza (pulgadas): diámetro 4 $\frac{1}{2}$; lago total 2

Peso en libras (aproximadamente) = 14,2

Para gusano frontal: *sprockets* de 36 dientes

Diámetro exterior: 15,040"

Maza (pulgadas): diámetro 5; lago total 2 $\frac{1}{2}$

Peso en libras (aproximadamente) = 38,6

Sello del gusano frontal: *sprockets* de 12 dientes

Diámetro exterior: 5,420"

Maza (pulgadas): diámetro 4; lago total 1 $\frac{7}{8}$

Peso en libras (aproximadamente) = 6,4

Reductor: *sprockets* de 13 dientes

Diámetro exterior: 5,820"

Maza (pulgadas): diámetro 3 7/8; lago total 1 5/8

Peso en libras (aproximadamente) = 6,6

Para cenicero trasero

Para el eje del motorreductor

- Eje de 2" ½
- *Sprockets*: 8" * 1/2 * 7/8 de 16 dientes

Para gusano trasero

- Eje: 3"
- Cuñero: 3/4²
- *Sprockets*: 18" * ½ de 36 dientes

Sello del gusano trasero

- Eje: 1 7/8
- cuñero 1/2²
- *Sprockets*: 10" * ½ * 3/4 de 20 dientes

Especificaciones de los *sprockets*.

Para cadena de 120

Para el eje del motoreductor: *Sprockets* de 16 dientes

Diámetro exterior: 8,440"

Maza (pulgadas): diámetro 5 1/4; lago total 2 3/8

Peso en libras (aproximadamente) = 19,9

Para gusano frontal: *sprockets* de 36 dientes

Diámetro exterior: 18,050"

Maza (pulgadas): diámetro 6; lago total 2 1/2

Peso en libras (aproximadamente) = 66,4

Sello del gusano frontal: *sprockets* de 20 dientes

Diámetro exterior: 10,370"

Maza (pulgadas): diámetro 5 1/4 ; lago total 2 3/8

Peso en libras (aproximadamente) = 25,8

2.3.2.4. Cálculo de esfuerzos en cadenas de transmisión

Las cadenas de transmisión son elementos de máquina que se utilizan para accionar ejes o sistemas de ejes por medio de un motor bajo el principio de engrane.

Básicamente, existen límites de esfuerzo tanto en los engranajes como en las cadenas, pero no así en las correas. Además, si un diente de un engranaje

falla o se rompe, el engranaje se detendrá en el siguiente paso o diente. Por lo tanto la secuencia correcta para un buen funcionamiento y confiabilidad es engranaje, cadena correa.

Cálculo de esfuerzo en las cadenas de transmisión, es el siguiente: esfuerzo por el efecto de la fuerza centrífuga.

$$\sigma_v = \frac{qv^2}{1\,000 \cdot g}$$

Siendo:

q: Peso específico de la cadena

q: Se tomara un peso aproximado de 38,6 lb (solamente se tomo el peso de la parte donde va el *sprockets*).

V : Velocidad de la correa = Velocidad de la salida del reductor

V= 60,34 rpm

g : Aceleración de la gravedad. $g = 32,2 \text{ p/s}^2$

$$\sigma_v = \frac{38,6 \cdot 60,34^2}{1\,000 \cdot 32,2} = 4,36 \text{ lb/p}^2$$

En la mayoría de los casos:

- Aumento en el ruido del engranaje indica que el fin de la vida útil está próxima.
- Se reconocerá que la cadena está casi en el final de su vida útil producto del aumento en el desgaste o por un aumento en las vibraciones.

- Es difícil detectar la vida útil del dentado de la correa sin detener la máquina e inspeccionar la correa cuidadosamente.

2.3.2.5. Especificaciones para chumaceras

La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello y un alojamiento de hierro colado de alto grado o de acero prensado, suministrado de varias formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interior del alojamiento son esféricas para que la unidad sea autoalineable. Algunas de sus características de diseño son: tipo libre de mantenimiento, tipo relubricable, rodamientos de alta capacidad de carga nominal del rodamiento y su fácil instalación de montaje y reemplazo.

Para el sistema de recolección en seco se utilizará la chumacera tipo brida con las siguientes indicaciones:

- chumaceras tipo Brida.
- Marca del cojinete TIMKEN, No. 42350.
- Eje de 3 ½”.
- La chumacera o caja, parte No. 023115.

Figura 21. Chumaceras tipo brida



Fuente: www.ntnsudamericana.com.

Para los ceniceros frontales y traseros se utilizará este tipo de chumacera debido a que la fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal del sistema que aplica un centroide a la sección transversal del mismo, produciendo un esfuerzo uniforme. También llamada fuerza axial, este tipo de chumacera es resistente para mayores fuerzas axiales que radiales.

2.3.3. Procesos para la elaboración del transportador helicoidal

Los diagramas son una representación gráfica de los pasos que se siguen una secuencia de actividades para la elaboración del transportador helicoidal, el cual es necesario para el nuevo sistema de recolección en seco que se requiere instalar en el hogar de las calderas del ingenio. Se identifica mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza. Incluye toda la información que considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas y tiempo estándar necesario para la elaboración del transportador helicoidal.

Análisis de tiempos. La técnica utilizada en la toma de tiempos es la de cronometración de tiempos.

Equipo utilizado para la medición del trabajo. Antes de iniciar un estudio de tiempo, es importante que se cuente con el equipo mínimo necesario a utilizar. A continuación se describe que equipo se utilizará en esta toma de tiempos.

- Cronómetro común con opción de arranque y detención de regreso a cero (*slip* y *lap*)
- Lapicero
- Calculadora

Se tomó el tiempo a las operaciones del proceso para la elaboración del transportador helicoidal. Para la toma de los tiempos se empleó el método regreso a cero, ya que las operaciones se realizan en intervalos grandes de tiempo.

A continuación se muestran los tiempos tomados para 10 discos.

Tabla VIII. Tiempos cronometrados para elaboración de transportador helicoidal

Actividad	T1	T2	T3	X(min)
Dibujar discos	90	92	93	91,67
Cortar discos	51	48	48,60	49,20
Pulir discos	30,20	29,90	31	30,37
Cortar discos	51	52,50	53,10	52,20
Pulir discos	30,20	32	30,90	31,03
Cortar discos	50,10	50,30	49,60	50
Pulir discos	30,60	31,20	30,80	30,87
Cortar diámetro interno de los discos	31,40	30,50	30	30,63
Pulir diámetro interno	31,70	30,40	30,90	31
Cortar diámetro interno de los discos	30,80	31,20	30,70	30,90
Pulir diámetro interno	29,80	30,20	29,90	29,97
Cortar diámetro interno de los discos	31,20	30,80	30,60	30,87
Pulir diámetro interno	29,70	30,50	30,90	30,37
Abrir discos	31,80	30,60	30	30,80
Alinear los discos	20,20	19,70	20,60	20,17
Soldar los discos	120,80	119,70	121	120,50
Colocar discos en eje	15,90	15,20	14,80	15,30

Continuación de tabla VIII...

Asegurar discos	10,10	10	9,60	9,90
Preparar cadenas para deformar	8,20	8,90	8,70	8,60
Estirar e inspeccionar	19,80	20,30	21	20,67
Golpear con mazo los discos para separarlos	19,60	20,70	20	20,10
Soldar discos	75,40	75	74,90	75,10
Asegurar discos	9,70	9,90	10	9,87
Preparar cadenas	8,60	7,90	8,40	8,30
Estirar e inspeccionar	20,20	19,80	20,30	20,10
Golpear con mazo los discos para separarlos	20,40	19,70	20,80	20,30
Soldar discos	75,20	75	74,80	75
Desatar lazos y sueltan cadenas	8,40	7,80	8,70	8,30

Fuente: elaboración propia.

El proceso no debe ser tan preciso puesto que existen variantes en todo el proceso que no se dan todos los días en igual forma. Esto debido a que el proceso no está automatizado y que las tareas son manuales. En relación con esto se puede determinar el nivel de confianza requerido en los resultados, en este caso se asignará un 90%.

Márgenes y tolerancias: son importantes para la obtención de tiempos estándares, ya que durante la jornada laboral debe tomarse en cuenta el ritmo que mantiene el operario. Ello debido a que no es el mismo ritmo cuando inicia que cuando va terminando, por los siguientes factores:

- Fatiga
- Tiempos personales (ida al baño, tomar agua)
- Retrasos inevitables (instrucciones del supervisor)

(Ver Anexos)

Márgenes de tolerancia por fatiga: la fatiga puede reducirse, más no evitarse. Esto debido a que se produce por el cansancio físico y por el estado psicológico del operador. Según la Oficina Internacional del Trabajo la tolerancia básica por concepto de fatiga es un 4%.

De acuerdo a estudios detallados de producción de la Oficina Internacional del Trabajo, se tiene un margen de tolerancia del 5% por retrasos personales, que indica 24 minutos en ocho horas de trabajo (jornada ordinaria de trabajo), tanto en hombres como en mujeres.

Los retrasos inevitables son debidos a las demoras por interrupciones del supervisor, que controla y revisa el trabajo realizado. Con esto puede obtenerse un 7% de tolerancia, que incluye también que es un trabajo de pie en posición normal (2%), se levantan pesos de aproximadamente 15 libras sobre todo para el corte de los discos (2%) y el proceso es moderadamente complicado (1%).

Tabla IX. Porcentaje de tolerancias

Tolerancias	Porcentajes totales
Por fatiga	4%
Por retrasos personales	5%
Por retrasos inevitables	7%
Total	16%

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de los tiempos estándares:

Tiempo estándar = tiempo normal* (1+%tolerancia/100)

Entonces se procederá a calcular el tiempo estándar para el proceso en la elaboración de los transportadores helicoidales para la primera operación:

Tiempo estándar = (91,67)(0,90)*(1+0,16) = 95,70 minutos

Para el cálculo de los demás tiempos estándares se utilizará el mismo factor de confianza y las mismas tolerancias calculadas, debido a que son constantes durante todo el proceso de producción.

Tabla X. Tiempos estándares para la elaboración del transportador helicoidal

Actividad	Promedio (min)	Tiempo estándar (min)
Dibujar discos	91,67	95,70
Cortar discos	49,20	51,36
Pulir discos	30,37	31,70
Cortar discos	52,20	54,50
Pulir discos	31,03	32,39
Cortar discos	50,00	52,20
Pulir discos	30,87	32,22
Cortar diámetro interno discos	30,63	32,00
Pulir diámetro interno	31,00	32,36
Cortar diámetro interno discos	30,90	32,25
Pulir diámetro interno	29,97	31,28
Cortar diámetro interno	30,87	32,22
Pulir diámetro interno	30,37	31,70
Abrir discos	30,80	32,15
Alinear los discos	20,17	21,05
Soldar los discos	120,50	125,80
Colocar discos en eje	15,30	16,00
Asegurar discos	9,90	10,33
Preparar cadenas	8,60	9,00
Estirar e inspeccionar	20,67	21,58
Golpear con mazo discos	20,10	21
Soldar discos	75,10	78,40
Asegurar discos	9,87	10,30

Continuación de tabla X...

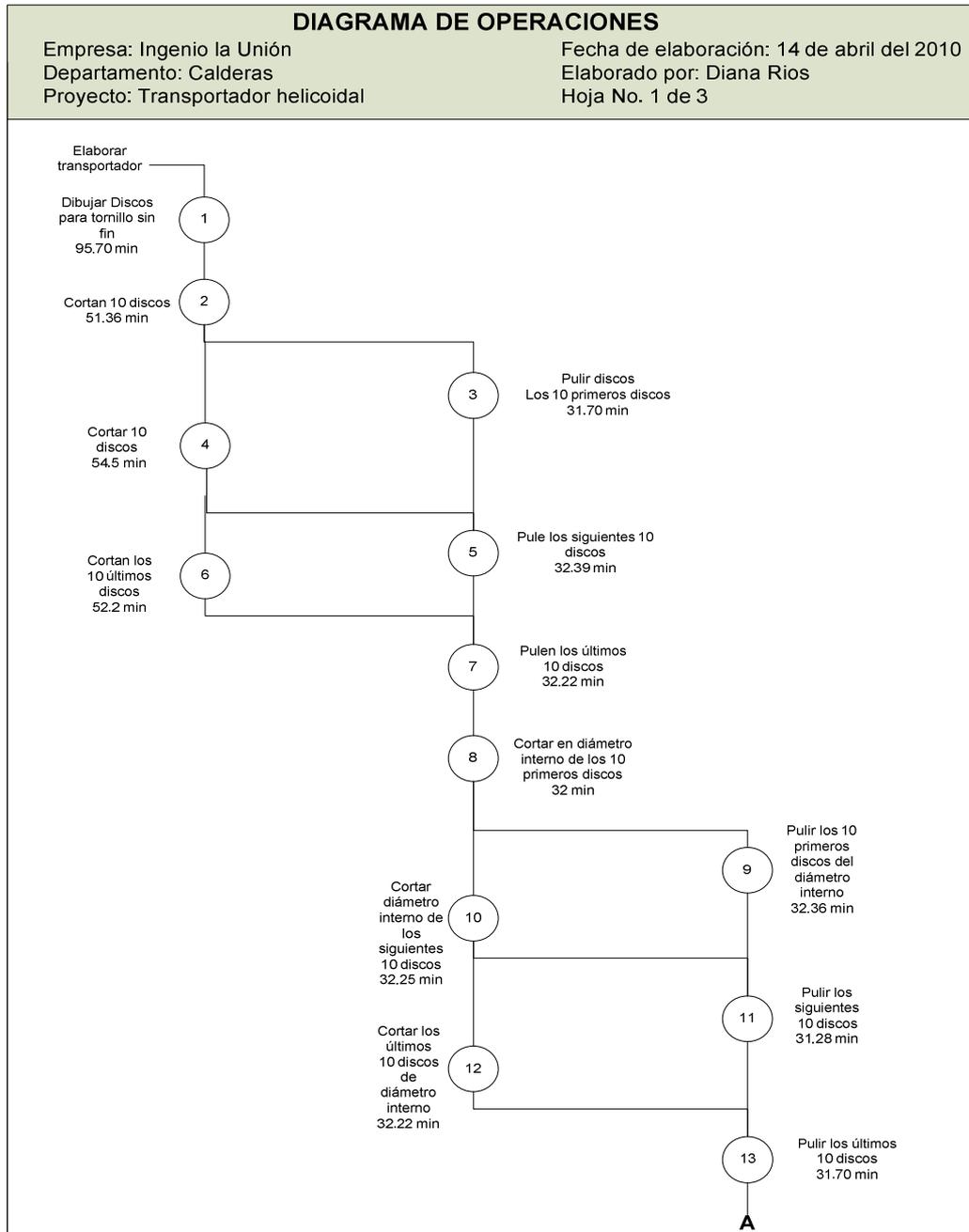
Preparar cadenas	8,30	8,67
Estirar e inspeccionar	20,10	21,00
Golpear con mazo discos	20,30	21,19
Soldar discos	75,00	78,3
Desatar lazos, soltar cadenas	8,30	8,67
Tiempo total estándar para la elaboración del transportador helicoidal requerido para el nuevo sistema de recolección en seco de ceniza		1 025,59 minutos o 17,09 horas

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.1. Diagrama de operaciones del proceso

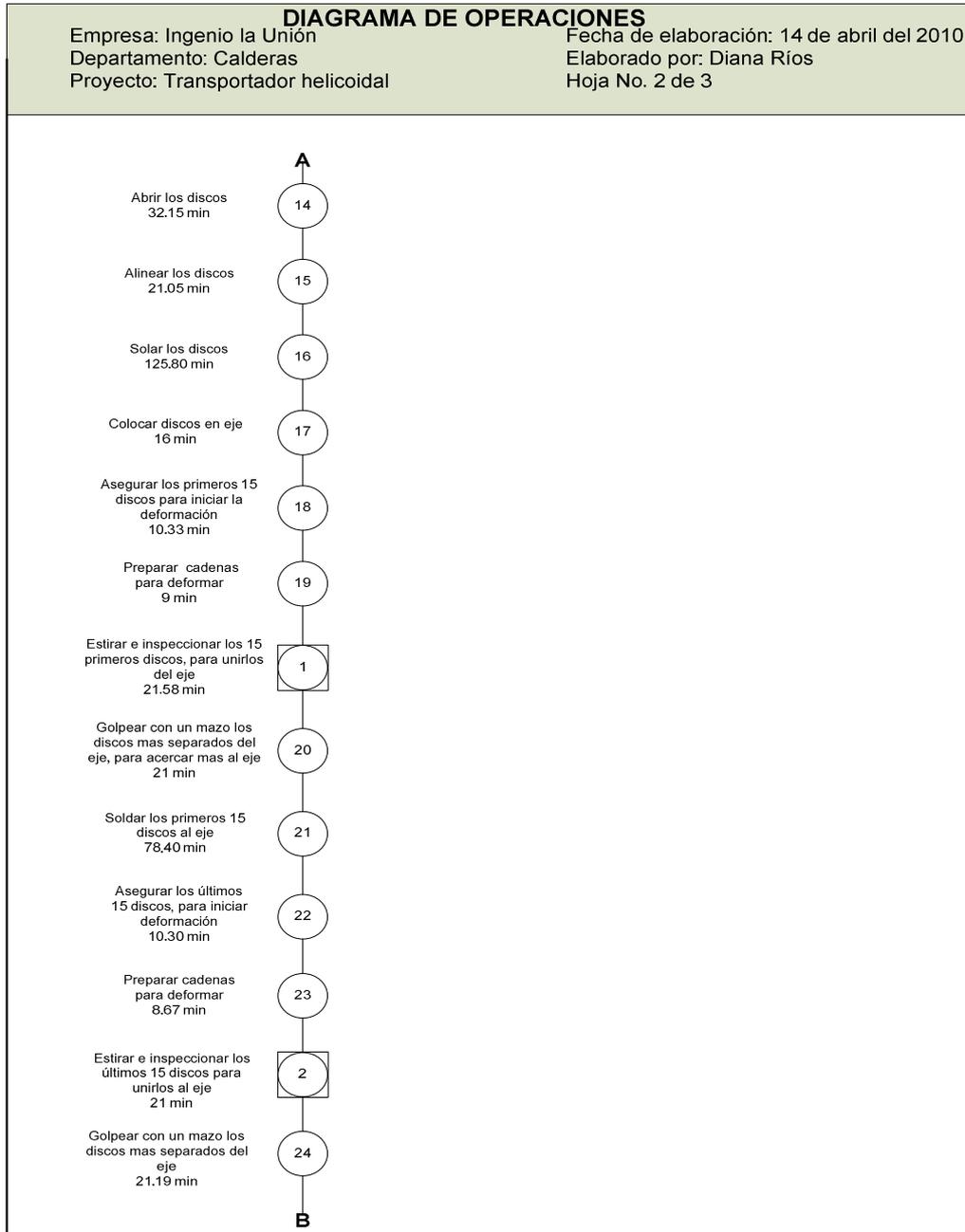
Para la diagramación del proceso de producción del transportador helicoidal (gusano helicoidal) se tomo en base el anterior procedimiento.

Figura 22. Diagrama de operaciones del proceso



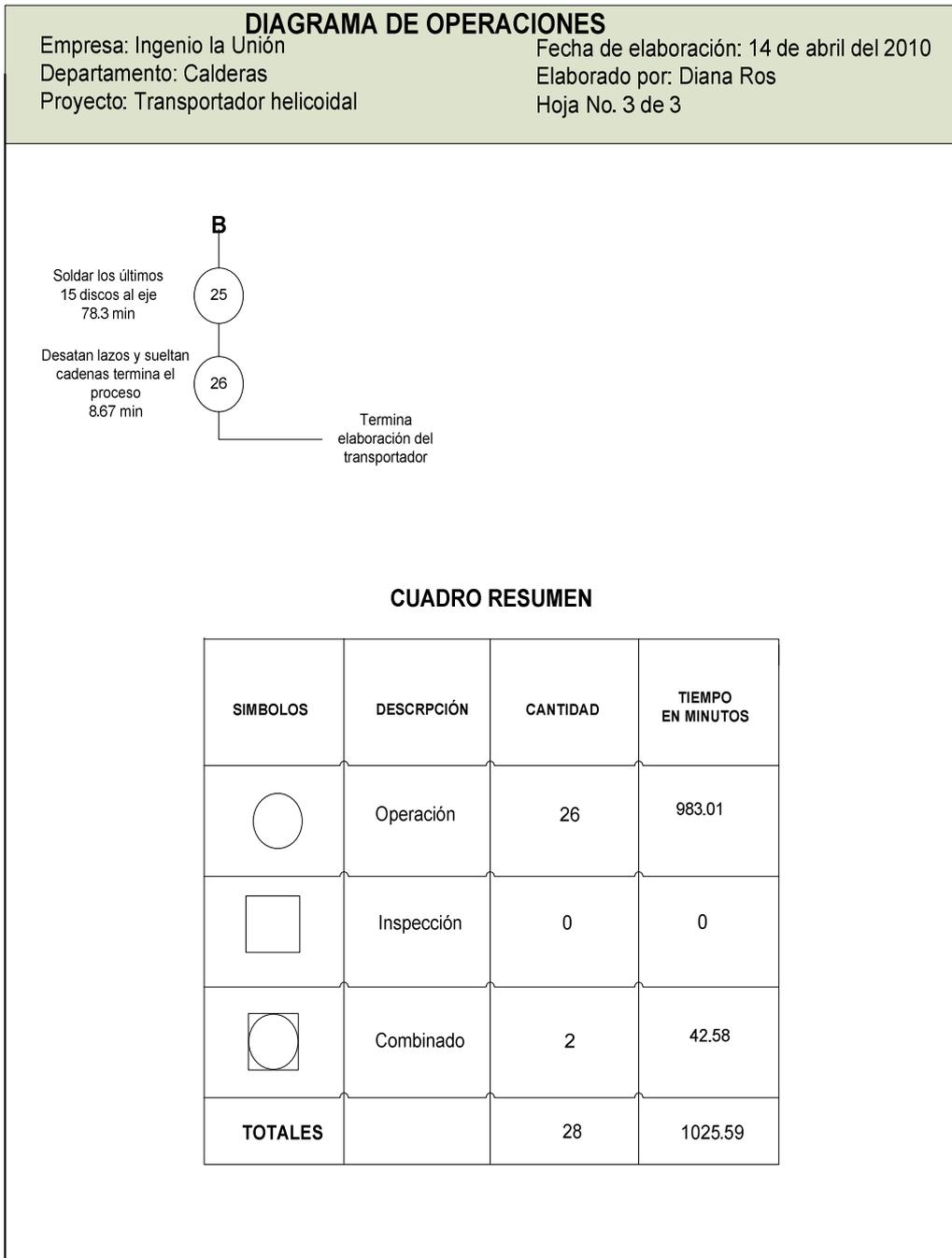
Fuente: elaboración propia.

Continuación de figura 22...



Fuente: elaboración propia.

Continuación de figura 22...



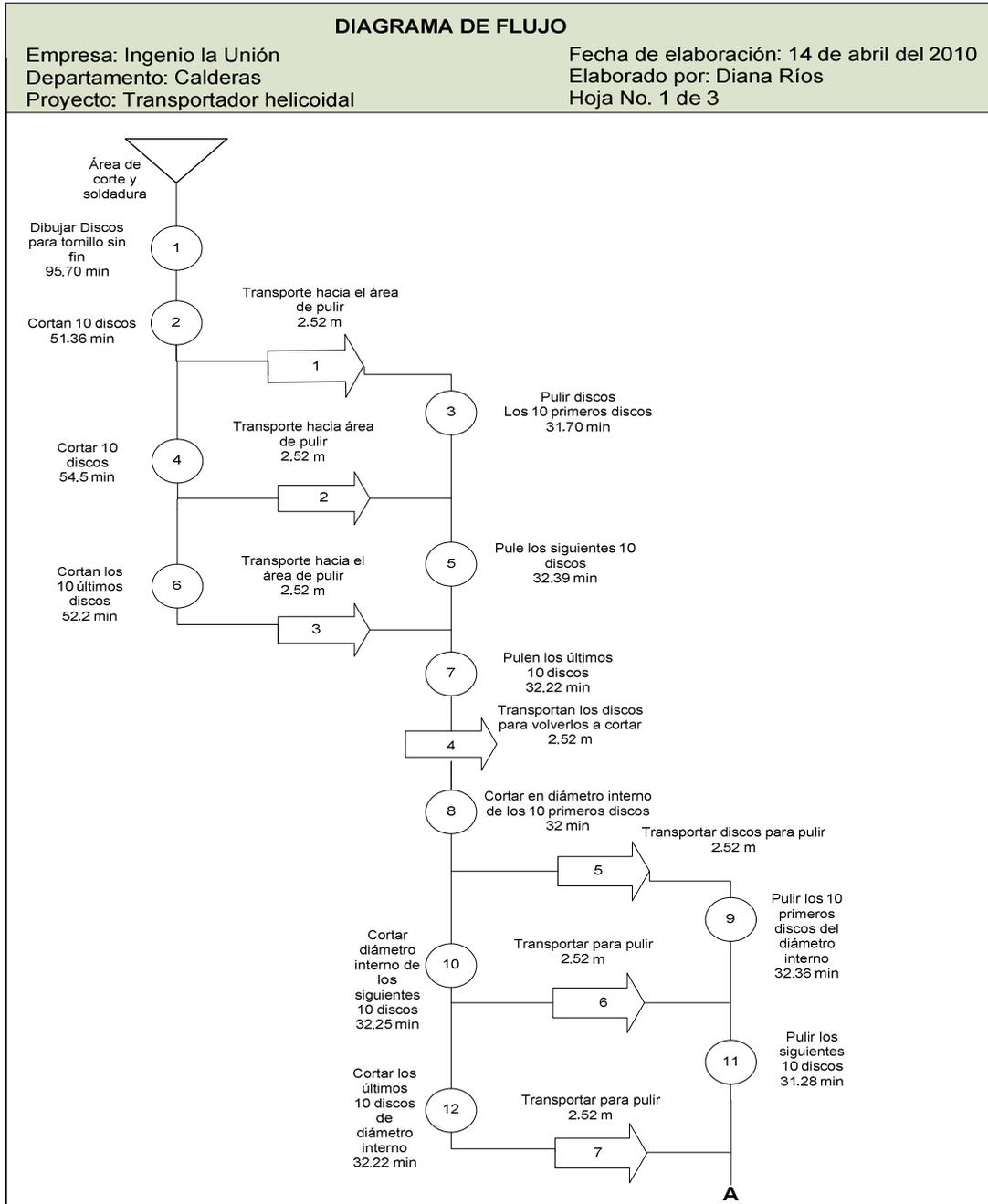
Fuente: elaboración propia.

2.3.3.2. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es especialmente útil para poner de manifiesto costos ocultos como distancias recorridas, retrasos y almacenamientos temporales.

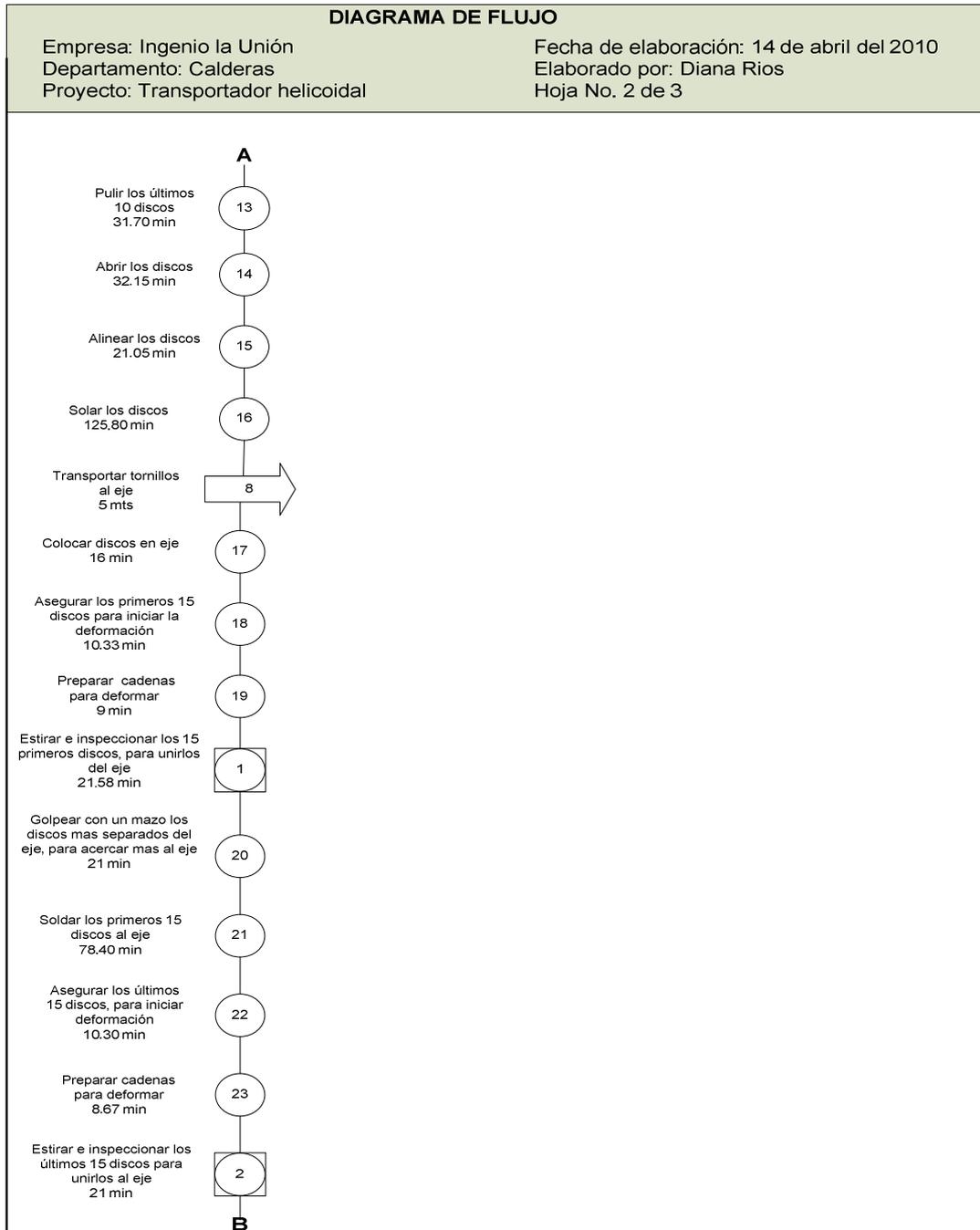
Este diagrama ayudará a visualizar de una forma aún más específica que en el diagrama anterior todas las actividades que se realizan para la elaboración de los transportadores helicoidales. La siguiente figura describe el diagrama de flujo de las operaciones del proceso.

Figura 23. Diagrama de flujo



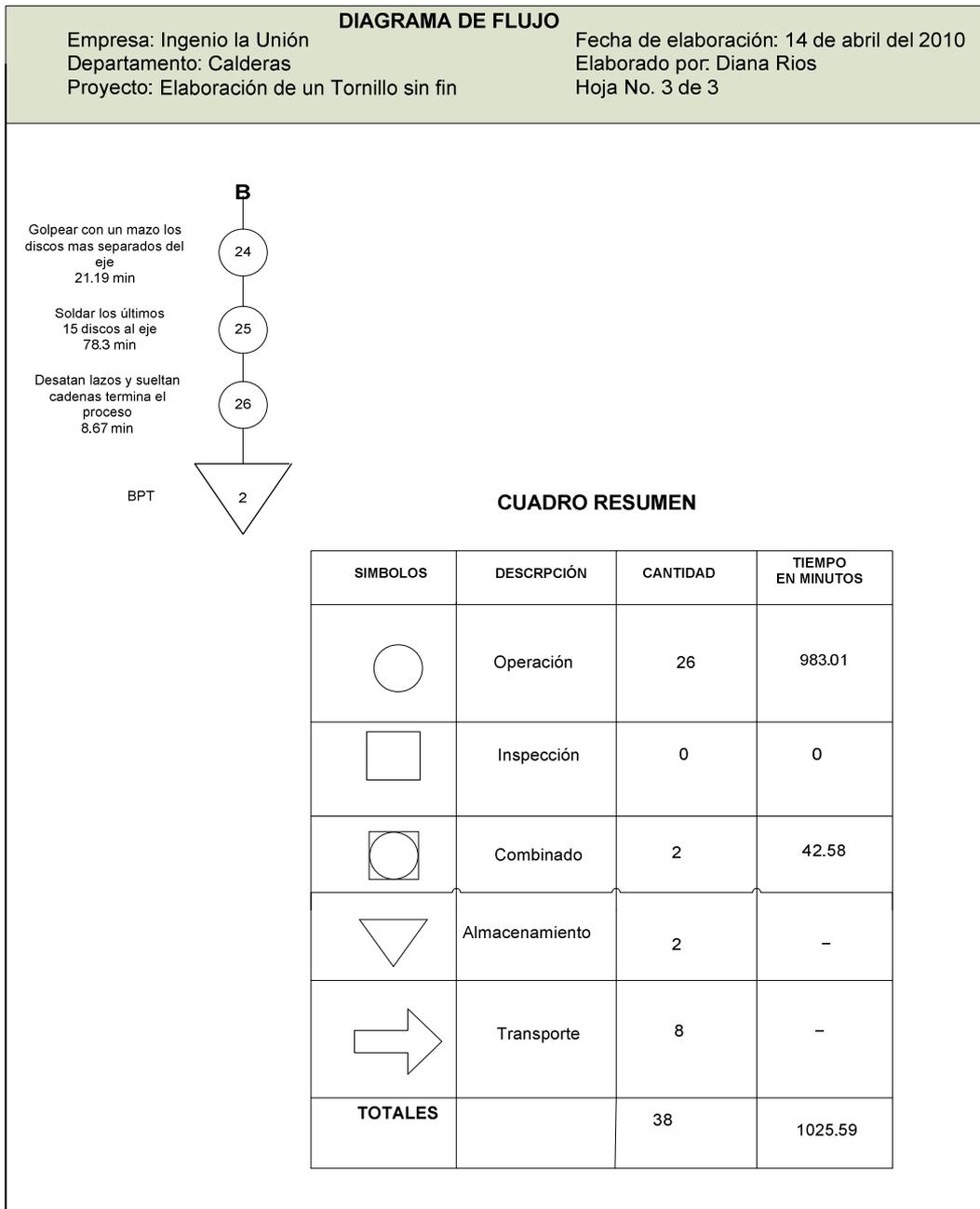
Fuente: elaboración propia.

Continuación de figura 23...



Fuente: elaboración propia.

Continuación de figura 23...



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Análisis de cargas y deflexiones en los transportadores helicoidales

Cuando se utilizan transportadores helicoidales de tamaño estándar, la deflexión es raramente un problema. Sin embargo si se utilizan helicoidales más largos que las secciones estándar sin colgantes intermedios, debe tomarse cuidado para prevenir que los helicoides del helicoidal hagan contacto con la artesa debido a la deflexión excesiva. La deflexión en la extensión media puede ser calculada mediante la siguiente fórmula.

$$D = \frac{5WL^3}{384(29\ 000\ 000)(I)}$$

Deflexión a temperatura ambiente (90°F)

D = deflexión en longitud media en pulgadas

W = peso total del helicoidal en libras

L = longitud del helicoidal en pulgadas

I = momento de inercia de el tubo, o el eje.

Para calcular el momento de inercia en el punto medio del transportador helicoidal se utilizan las siguientes tablas donde se describen en pulgadas el tamaño del tubo y el momento de cada uno de ellos respectivamente.

Tabla XI. Tubo cédula 40

Diámetro	2"	2 ½"	3"	3 ½"	4"	5"	6"	8"	10"
I	0,666	1,53	3,02	4,79	7,23	15,2	28,1	72,5	16,1

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

En el caso de los ceniceros de las calderas se midieron tubos de cédula 80 con tamaños de 4" para el cenicero trasero y de 5" para el cenicero frontal, en la tabla XII se observan los momentos de inercia de cada uno respectivamente.

Tabla XII. Tubo cédula 80

Diámetro	2"	2 ½"	3"	3 ½"	4"	5"	6"	8"	10"
I	0,868	1,92	3,89	6,28	9,61	20,7	40,5	106	212

Fuente: Martin Sprocket, Manual del fabricante.

Cálculos para cenicero frontal

Tubo de 5"

W = 497,57 libras

L = 264 pulgadas

I = 20,7

$$D = \frac{5 \cdot 497,57 \cdot 264^3}{384(29\,000\,000) \cdot 20,7} = 0,20 \text{ Pulgadas}$$

Cálculo para cenicero trasero

Tubo de 4 “

W= 376 libras

L = 240 pulgadas

I = 9,61

$$D = \frac{5 \cdot 376 \cdot 240^3}{384(29\,000\,000) \cdot 9,61} = 0,24 \text{ Pulgadas}$$

Conclusión: Esta es una fórmula para calcular la deflexión de un eje sometido a una carga uniformemente distribuida. La deflexión es directamente proporcional con la temperatura, por lo que para el caso del sistema de recolección en seco de ceniza se dejarán 5/8” de distancia entre la artesa y el helicoidal del gusano para prevenir que exista fricción a causa de la deflexión que sufrirá el eje.

2.3.5. Expansión térmica en los transportadores helicoidales

Los transportadores helicoidales en ocasiones se utilizan para transportar materiales calientes. Por lo tanto es necesario reconocer que el transportador incrementará el tamaño al subir la temperatura de la artesa y del helicoidal cuando el material caliente comienza a ser transportado.

La práctica general recomendada es proporcionar soportes para la artesa que permitirán al movimiento del extremo de los pies de ésta durante la expansión de la artesa y durante la subsecuente contracción al terminar la transportación de los materiales calientes. El extremo de la transmisión del transportador está generalmente arreglado, permitiendo que el sobrante de la

artesa se expanda o contraiga. En este caso existen entradas intermedias o boquillas de descarga que no pueden moverse; es entonces que se requieren las artesas tipo expansión.

Además, el transportador helicoidal puede expandirse o contraerse en su longitud a diferentes proporciones que la artesa. Por lo tanto, se recomiendan generalmente colgante de expansión. El extremo de la artesa opuesta a la transmisión debe incorporar un rodamiento de rodillo o de bola tipo expansión o un rodamiento de collar que proporcionará suficiente movimiento.

El cambio en la longitud del transportador helicoidal puede ser determinado de la siguiente fórmula:

$$\Delta L = L (t_1 - t_2) C$$

ΔL = incremento en el cambio de longitud, pulgadas

L = largo global del transportador en pulgadas

t_1 = límite superior de la temperatura, grados *Fahrenheit*

t_2 = límite inferior de la temperatura, grados *Fahrenheit* (mínima temperatura ambiental esperada)

C = coeficiente de expansión lineal, pulgadas por pulgada por grado *Fahrenheit*.

El coeficiente tiene los siguientes valores para varios materiales:

Acero al carbón rolado en caliente,	$6,5 \times 10^{-6}$ (0,0000065)	
Acero inoxidable,	$9,9 \times 10^{-6}$ (0,0000099)	
Aluminio,	$12,8 \times 10^{-6}$ (0,0000128)	
Hierro puro,	$10,4 \times 10^{-6}$	←

Cálculo para cenicero frontal

$$L = 22 \text{ pies} * 12 = 264 \text{ pulgadas}$$

$$t_1 = 300^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 90^\circ\text{F} \text{ temperatura ambiente}$$

$$C = 10,4 \times 10^{-6}$$

$$\Delta L = 264''(300-90) * 10,4 \times 10^{-6}$$

$$\Delta L = 0,5 \text{ pulgadas.}$$

Por lo que el transportador helicoidal o gusano helicoidal en el cenicero frontal a estas temperaturas tendrá una expansión termal de 0,5 pulgadas.

Para el paso del gusano se dejo 5/8 de pulgadas para la expansión.

Cálculo para cenicero trasero

$$L = 20 \text{ pies} * 12 = 240 \text{ pulgadas}$$

$$L = 240 \text{ pulgadas}$$

$$t_1 = 600^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 90^\circ\text{F} \text{ temperatura ambiente}$$

$$C = 10,4 \times 10^{-6}$$

$$\Delta L = 240''(600-90) * 10,4 \times 10^{-6}$$

$$\Delta L = 1,27 \text{ pulgadas}$$

El transportador helicoidal o gusano helicoidal en el cenicero trasero a estas temperaturas tendrá una expansión termal de 1,27 pulgadas.

Para el cenicero trasero se dejó 1 ½ de pulgadas para la expansión térmica del gusano.

2.4. Plan de Mantenimiento

El mantenimiento se realiza en dos etapas: época de zafra azucarera y época de no zafra o reparación, por lo cual habrá dos tipos de mantenimientos.

Personal de mantenimiento: El ingenio cuenta con dos períodos de manteamientos, en los cuales debe contar con personal capacitado para que desempeñen exitosamente el puesto a su cargo. Se instruye al personal por medio de capacitaciones periódicamente para reforzar sus conocimientos y habilidades sobre los equipos que manejan dentro del departamento de calderas. Los puestos de trabajo que se manejan en el departamento de calderas son los siguientes:

- Jefes del departamento de calderas
- Ingeniero de turno
- Supervisores
- Soldadores
- Ayudante de mecánico
- Rematador de soldadura
- Ayudante de soldador
- Operadores mecánicos

La siguiente figura describe las tareas necesarias que se deben realizar cuando arranque el sistema, en operación normal y cuando se pare.

Esta programación será revisada por los supervisores e ingenieros del área de calderas para el control y verificación del cumplimiento de las tareas que se deben realizar en el sistema de recolección en seco.

Para el arranque del sistema se trata de tareas que se deben verificar cada inicio de zafra. Para el período de operación normal en época de zafra existen tareas que los operarios deben realizar cada cambio de turno, siendo las siguientes: revisar temperatura de las chumaceras, revisar el amperaje y voltaje de los motores eléctricos, monitorear ruidos anormales, así como también existen tareas que se deben realizar cada semana siendo las siguientes: verificar niveles de aceite y re-engrase de chumaceras, lubricación de cadenas de transmisión.

En período de reparación se debe cumplir con la programación de las tareas en el tiempo que el supervisor e ingeniero de turno lo dispongan.

Figura 25. Programación del mantenimiento

Empresa Ingenio La Unión 		Programación de mantenimiento para el sistema de recolección en seco		Departamento de Calderas
Verificación de tareas				
No.	Descripción de tarea	Arranque, periodo zafra azucarera		Observaciones
		SI	NO	
1	Revisar nivel de aceite de reductores			
2	Revisar lubricación de chumaceras			
3	Revisar conexión de acoplamiento reductor			
4	Cadena de transmisión			
5	Revisar canal de transportadores helicoidales			
6	Cerrar registros frontales			
7	Revisar motores eléctricos			
8	Habilitar eléctricamente los motores			
9	Rotación de motores eléctricos			

Continuación de figura 25...

10	Revisar funcionamiento de recolección en seco de ceniza			
No.	Descripción de tarea	Operación normal zafra azucarera; cambio de turno		Observaciones
		SI	NO	
1	Revisar temperaturas de chumaceras			
2	Revisar amperaje, voltaje motor eléctrico			
3	Ruidos anormales			
4	Verificar nivel de aceite y re-engrase de chumaceras			
5	Lubricación de cadenas de transmisión			
6	Desalojo de ceniza			
No.	Descripción de tarea	Periodo de reparación		Observaciones
		SI	NO	
1	Limpiar canal y transportador helicoidal			
2	Detener funcionamiento de transportadores helicoidales			

Continuación de figura 25...

3	Solicitar a eléctricos de turno deshabilitar arrancadores de motores eléctricos			
4	Desmontar cadena de transmisión			
F. _____ Supervisor del área de calderas		F. _____ Ingeniero de turno		

Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Plan de mantenimiento (PHVA= planificar, hacer, verificar, analizar)

La utilización del PHVA brinda una solución que realmente permite mantener la mejora de la calidad, reducir los costos, mejorar la productividad y lograr la supervivencia de la empresa.

Figura 26. Diagrama PHVA

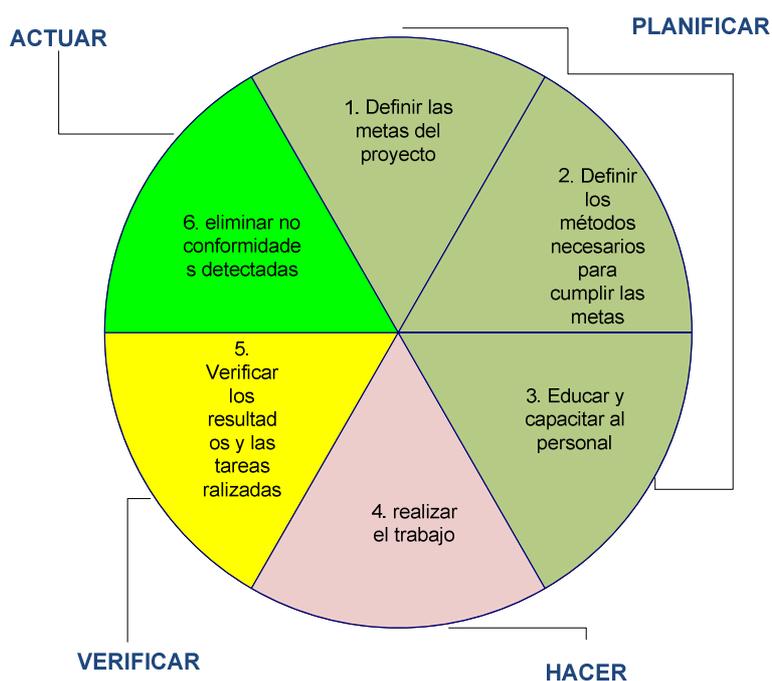


DIAGRAMA PHVA PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN EN SECO

Fuente: elaboración propia.

PLANIFICAR

Definir las metas:

- Reducir la contaminación de los efluentes en el período de molienda o zafra azucarera.
- Garantizar el funcionamiento del sistema de clarificación del agua y extracción de ceniza en el periodo de zafra azucarera.

- Reducir las emisiones al medio ambiente optimizando el proceso de limpieza de los gases de las chimeneas de las calderas en el período de zafra azucarera o molienda.
- Reducir los costos de mantenimiento y reparación del sistema de clarificación en el período de no zafra.

Definir métodos:

- Diseño, montaje e implementación de transportadores helicoidales en los ceniceros frontales y traseros de las calderas para desalojar los residuos de la combustión del bagazo, eliminando el uso del agua.

HACER

- Operar las calderas con el nuevo sistema de recolección en seco de ceniza que se espera que esté instalado para la zafra 2010-2011.

Elaborar instructivo de arranque, operación y paradas de los transportadores helicoidales:

INSTRUCTIVO

Arranque y Operación de los transportadores helicoidales para desalojo de ceniza en las calderas.

Propósito:

Estandarizar el arranque y operación de los transportadores helicoidales para desalojo de ceniza en los ceniceros frontal y trasero de las calderas.

Desarrollo:

Arranque

- Revisar el nivel de aceite en los reductores
- Revisar la lubricación de las chumaceras
- Revisar conexión de acoplamiento del motoreductor
- Revisar la cadena de transmisión
- Verificar que no hallan objetos extraños en el canal que puedan atorar el gusano helicoidal.
- Verificar que el sello del gusano helicoidal esté libre de objetos extraños
- Cerrar los registros frontales
- Revisar que los motores eléctricos estén libres de humedad
- Habilitar eléctricamente los motores eléctricos
- Revisar que la rotación de los motores eléctricos sean correctos
- Meter a línea los motores de los gusanos helicoidales
- Revisar el funcionamiento normal del sistema de recolección de ceniza

Operación Normal

- Revisar periódicamente temperaturas en las chumaceras, motoreductores.
- Revisar periódicamente amperaje y voltaje de los motores eléctricos
- Monitorear ruidos anormales
- Verificar niveles de aceite y re-engrase de chumaceras
- Lubricación de cadenas de transmisión
- Desalojo de ceniza

Parada del Sistema

- Limpiar canal y gusano helicoidal
- Detener el funcionamiento de los gusanos helicoidales
- Solicitar al electricista de turno que deshabilite los arrancadores de los motores eléctricos
- Desmontar la cadena de transmisión.

VERIFICAR

Darle seguimiento al funcionamiento de los transportadores helicoidales y ver si cumplen con los requisitos sugeridos.

Un procedimiento de mantenimiento es una lista de pasos necesarios que se deben seguir y estos deben ser entregados a los técnicos, para la realización del mantenimientos del equipo. Estos pasos deben ser elaborados por las indicaciones que el fabricante señala en el manual de la operación y mantenimiento del equipo. A veces también deben ser tomadas en cuenta las sugerencias de los mismos técnicos para la realización eficiente y rápida del mantenimiento.

ACTUAR

En función de la verificación se debe llenar la hoja de control de los equipos que integran el sistema de recolección en seco; en base al diagnóstico se llevará acabo las acciones correctivas necesarias. La figura 27 se muestra la hoja de control para el equipo del sistema de recolección en seco.

Figura 27. Hoja de control para equipo del sistema de recolección en seco

<p>Empresa: Ingenio La Unión</p> 	<p>Hoja de control para equipo del sistema de recolección en seco</p>	<p>Departamento de calderas</p>
<p>No. De Registro:</p>		
<p>Nombre del equipo:</p>		
<p>Localización:</p>		
<p>Área de Calderas:</p>		
<p>Marca:</p>		
<p>Serie:</p>		
<p>Modelo:</p>		
<p>Motor:</p>		
<p>Potencia:</p>		
<p>Voltaje:</p>		
<p>RPM:</p>		
<p>Lubricante:</p>		
<p>Cantidad de lubricante:</p>		
<p>Fecha de instalación:</p>		
<p>Observaciones:</p>		
<p style="text-align: center;">F. _____ Ingeniero de turno en periodo de zafra azucarera</p>		

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo para el período de reparación se realizará una vez concluida la zafra azucarera. Este busca los desperfectos observados en el mantenimiento realizado por el PHVA. Este mantenimiento es importante para evitar paros no programados una vez comenzada la zafra azucarera, aumenta la productividad, así como la vida útil de la maquinaria y equipo.

Las actividades principales del mantenimiento preventivo son:

Inspección periódica con el fin de encontrar las causas que provocarían paros imprevistos.

Para el sistema de recolección en seco la inspección consistirá en lo siguiente:

- Revisar temperaturas de chumaceras y motoreductores.
- Revisar voltaje y amperaje de los motores eléctricos
- Revisar niveles de aceite en chumaceras
- Lubricación en cadenas de transmisión

Conservar el sistema, anulando y reparando aspectos dañinos cuando apenas comienzan.

- Verificar que no hallan objetos extraños en el canal que puedan atorar el transportador helicoidal
- Verificar que el sello del transportador helicoidal esté libre de objetos extraños.

El mantenimiento preventivo para el sistema de recolección en seco de ceniza, es necesario tanto para el tiempo de zafra azucarera como para el de reparación. A continuación en la figura 28 se describe una ficha de control para el reporte de las actividades realizadas para el sistema de recolección en seco.

Figura 28. Ficha de control de reporte de actividades

Empresa: Ingenio La Unión 		Hoja de reporte de actividades semanales		Departamento de calderas	
Semana del _____ de _____		al _____ de _____		de 2,0__	
Nombre del trabajador :			Puesto:		
Fecha	No. orden	Trabajo realizado	Tiempo asignado	Tiempo real	Observaciones
Permisos:	F: Falto I: IGSS E: Enfermedad P: Personal	Observaciones			
F: _____ Supervisor					

Fuente: elaboración propia.

2.5. Beneficios al medio ambiente por medio del sistema de recolección en seco

Con la implementación del sistema de recolección en seco de ceniza se espera obtener los siguientes beneficios.

2.5.1. Reducción de emisiones al medio ambiente

El agua con desechos que proviene de los ceniceros de las calderas y de los *scrubbers* viaja por medio de canales abiertos hacia el sistema de clarificación donde entra al conductor 1, en donde se filtra o separa el agua. Toda la ceniza o partículas de material grueso que viene de los *scrubbers* y ceniceros de las calderas son transportados por los conductores hacia la tolva de desechos.

Esta agua filtrada todavía conteniendo ceniza y arena muy fina, es recibida por medio de bandejas en la parte de abajo con un grado de inclinación, para que toda esta agua filtrada sea conducida por gravedad hacia el tanque de agua de ceniza.

El agua con ceniza y sólidos es bombeada por medio de las bombas para la caja de entrada de las celdas de decantación, en donde recibe el polímero floculante, proveniente de la estación de preparación de polímero floculante, por medio de las bombas dosificadoras.

Después de la etapa de floculación de la ceniza, el agua con ceniza sigue adentro de las cuatro celdas de decantación hasta la cámara de decantación, donde los flóculos de ceniza sedimentan en el fondo de las celdas, formando el lodo.

Mientras tanto el agua tratada o clarificada, rebalsa a través de los vertederos y es conducida por gravedad hacia el tanque de agua limpia. El agua clarificada entonces es bombeada de vuelta a los lavadores (*scrubbers*) y ceniceros de las calderas para así cerrar el ciclo.

El lodo decantado es retirado continuamente por gravedad por el fondo de las cuatro celdas de decantación en un flujo pre-ajustado. Todo este lodo decantado es desechado al canal de lodos, para luego ser conducidos por gravedad hacia los filtros. Dado que contiene una pequeña cantidad de agua, es removida por medio de los filtros y todo el lodo que queda retenido es arrastrado por el conductor de tablillas hacia el filtro rotativo, que lo pasa a una prensa y luego va hacia la tolva de desechos, de dónde es retirado por un camión de volteo.

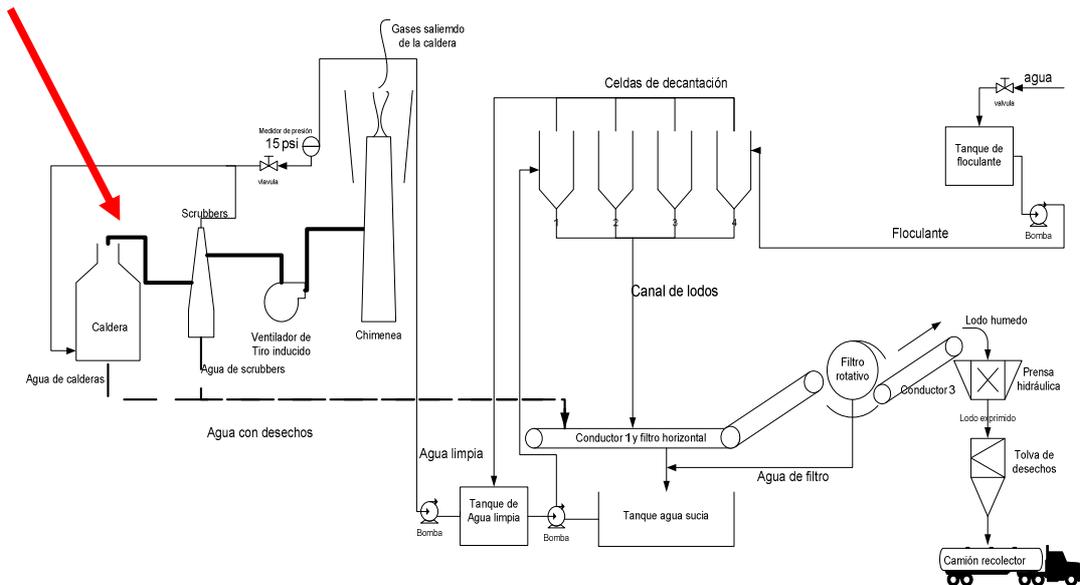
Mientras, la corriente líquida pequeña removida que pasó por los filtros regresa por gravedad por medio de las bandejas que se encuentran debajo de los conductores hacia el tanque de agua de ceniza, para ser reciclada para el proceso.

Se eliminarán los canales de agua limpia que pasan por los ceniceros de las calderas, quedando únicamente la tubería de los *scrubbers*. Los *scrubbers*, mejor conocidos como lavadores de gases, trabajarán con una mayor eficiencia debido a que la presión con la que ingresará el agua será mayor, teniendo como resultado un mejor lavado de gases. Los gases que saldrán de la chimenea serán mucho más limpios y habrá una disminución de contaminación al medio ambiente.

En la siguiente figura se muestra un esquema de los lavadores de gases y de los ceniceros de las calderas, donde por medio de canales de agua procedente de estos sistemas tiene su culminación el sistema de clarificación. Esta figura muestra la tubería de agua limpia en el sistema actual con que se trabaja en el ingenio.

Figura 29. (Situación actual) diagrama del sistema de clarificación de agua de ceniza de lavado de gases y ceniceros en calderas

Tubería de agua limpia
Hacia los ceniceros de las calderas

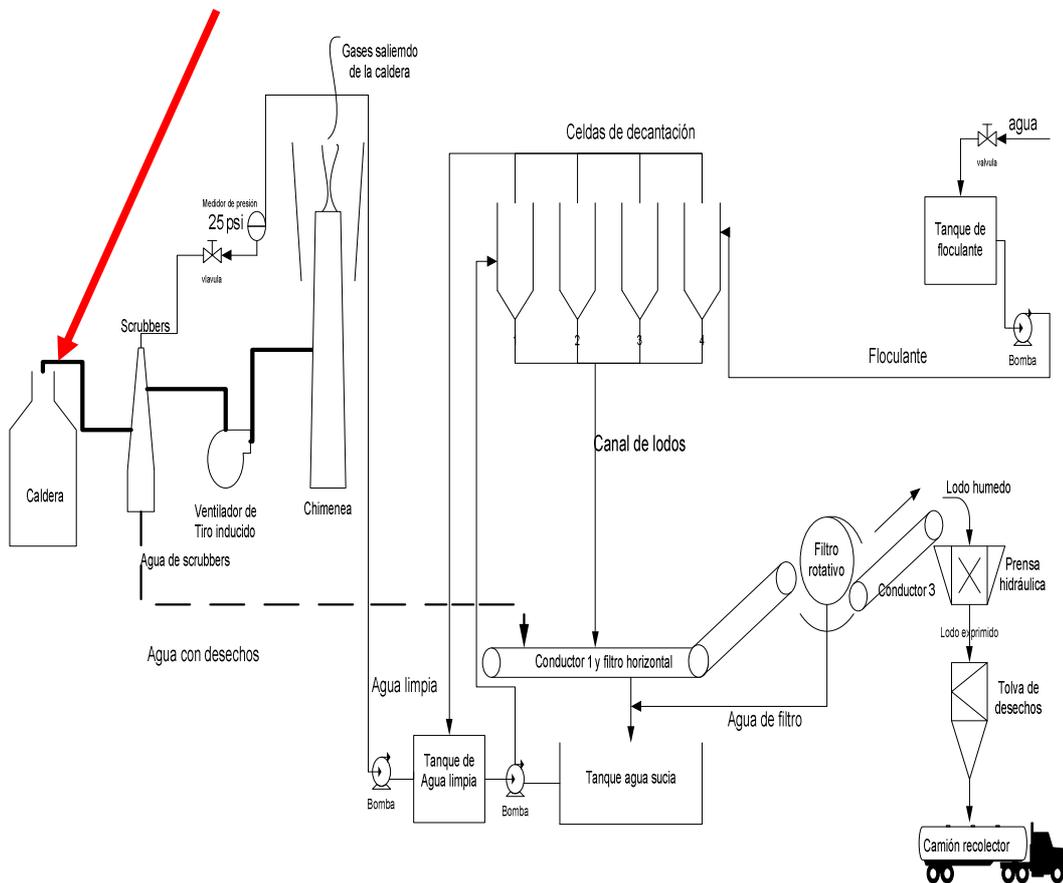


Fuente: elaboración propia.

La figura 30, muestra un esquema detallado donde se puede observar por dónde se eliminará la tubería de agua limpia hacia los ceniceros de las calderas.

Figura 30. (Situación propuesta) diagrama del sistema de clarificación de agua de ceniza de lavado de gases

Se eliminó la tubería de agua limpia hacia los ceniceros de las calderas



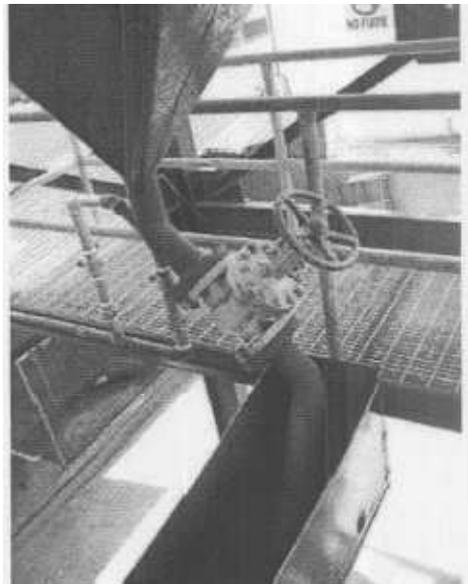
Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Evitar el desbordamiento hacia el río Petayá (efluentes)

El flujo de agua para el tratamiento de clarificación de agua de ceniza no debe sobrepasar los límites máximos de flujo establecidos para el sistema. El sistema de clarificación debe manejar un flujo de $800 \text{ m}^3/\text{h}$. (3 500 GPM).

El flujo de agua a ser enviada para las calderas debe ser ajustado manualmente a través del mecanismo de la válvula de mariposa que se encuentra ubicada en la descarga de la bomba. Esta debe estar a $3/4$ de su capacidad de abertura. Esta agua es succionada del tanque de agua limpia y es bombeada hacia las calderas para el proceso de lavado de gases y ceniceros.

Figura 31. Válvula de mariposa del sistema de clarificación de ceniza



Fuente: Manual del sistema de clarificación de ceniza del Ingenio La Unión.

En el tanque de agua limpia existe un control de nivel por medio de electrodos, el cual indicará cuándo el nivel del agua este alto o bajo. Así se podrá controlar la reposición (*make-up*) del agua que se pierde en el sistema debido a las pérdidas de humedad y de vapor en el humo.

Esta reposición de agua ocurre en el canal que conduce el agua con ceniza desde las calderas, hasta el clarificador de agua de ceniza.

Con el sistema de recolección de ceniza, en seco, éste quedará sin problemas de saturación trabajando con mayor eficiencia, por lo que ya no se dañarán los efluentes próximos al ingenio como el río Petayá.

2.5.3. Organizaciones encargadas del medio ambiente en Guatemala

En la actualidad el daño causado por los ingenios azucareros tiene un impacto ambiental, jurídico, social y económico principalmente por la contaminación de aguas a los ríos en el departamento de Escuintla.

El Ingenio La Unión se encuentra trabajando arduamente para poder controlar el daño provocado por derrames al río Petayá, para evitar sanciones o incluso el cierre de labores del mismo.

ORGANIZACIONES LIGADAS A LA INDUSTRIA AZUCARERA Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA)

Creada el 17 de septiembre de 1957, se formó para coordinar todos los asuntos que concernían al grupo en conjunto, como políticas de apoyo para

exportaciones, búsqueda de nuevos mercados, defensa de beneficios obtenidos en el exterior, etc. ASAZGUA aglutina a 29 de todos los ingenios azucareros del país y vela por el desenvolvimiento armónico de sus actividades.

La Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), agrupa a otras instituciones, entre ellas: Fundación del Azúcar (FUNDAZUCAR) y el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

Las auditorías ambientales diseñadas para ingenios azucareros, son las que están concebidas para la prevención de la contaminación. Consisten en lo siguiente: están diseñadas para minimizar desechos. Las áreas examinadas incluyen eliminación de fuentes, conservación de energía, recuperación, reciclabilidad, tratamiento, disposición y emisión. Las compañías realizan esas auditorías, dado que reconocen que eliminar o reducir la producción de desechos es usualmente mucho menos costoso, que limpiar los desechos al final del proceso productivo.

2.5.4. Riesgos en los que incurre el ingenio por dañar el medio ambiente

La ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, en su artículo número ocho dice lo siguiente:

Artículo 8.- (Reformado por el Decreto del Congreso Número 1-93) Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de

evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la comisión del Medio Ambiente.

El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este Artículo, será responsable personalmente del incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q 5 000,00 a Q 100 000,00. En caso de cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado. El negocio será clausurado en tanto no cumpla.

Por medio del sistema de recolección en seco el Ingenio La Unión espera contar con los siguientes resultados:

- Disminución del consumo de floculante para la clarificación del agua de lavado para los gases de combustión de las calderas.
- Optimizar el proceso de clarificación del agua de lavado de los gases de combustión en los separadores de hollín.
- Optimizar el consumo de agua de inyección en las calderas del Ingenio
- Evitar los derrames al río Petayá (efluentes).

Siendo este último un punto muy importante, ya que se evitará seguir dañando el río, por lo que se evitarán problemas con los vecinos del lugar y se beneficiará a los animales que vivan en el entorno, preservando así la flora y la fauna del río Petayá.

3. ANÁLISIS DE COSTOS-BENEFICIO

3.1. Análisis de costos para el sistema de recolección en seco

El sistema de recolectar en seco, la ceniza de las calderas es un proyecto nuevo, con fines de mejorar la recolección de desechos, ahorrar y evitar multas para el ingenio por daños al medio ambiente.

Cuando se refiere a mejorar la recolección de desechos, quiere decir que las calderas operarán produciendo lo mismo, por lo que la eficiencia no cambiará. La diferencia es que los desechos, en este caso las cenizas, se recolectaran por medio del las respectivas limpiezas que se harán a la parrilla, con un sistema de transportador helicoidal instalado en el cenicero del hogar de las calderas, tanto en la parte frontal como en la parte trasera del mismo.

Las cenizas de bagazo caerán fuera de los ceniceros de las calderas y serán recolectadas por medio de carretas, que los operarios descargarán en un camión, el cual al final del día las dejará en el campo donde se utilizarán como abono orgánico para la siembra y cuidados de la de caña.

Con este proceso se evitará la saturación en el sistema de clarificación debido a la gran cantidad de desechos que llegaban a los decantadores de este sistema, donde se tenía que utilizar una cantidad elevada de floculante. Se optimizará el agua de inyección para las calderas.

A continuación se describirán los costos utilizados para este proyecto.

3.1.1. Costo de materiales utilizados para el sistema de recolección en seco

Las siguientes tablas muestran los costos y la cantidad de láminas, tubos ejes, tornillos que fueron necesarios para la elaboración del sistema de recolección de ceniza en seco.

3.1.1.1. Láminas

En la tabla XIII se muestran las medidas de cada una de las láminas y sus respectivos costos, necesarias para la elaboración de las artesas o canoas del sistema de recolección en seco.

Tabla XIII. Canales frontales

Cantidad	Material	Costo por (\$)	Costo total (Q)
1 1/4	lámina de ¼ x 6' x 20'	4 081,21	32 649,68
2	lámina de ¼ x 6' x 20'	3 264,97	52 239,52
1	lámina de ¼ x 6' x 20'	3 264,97	26 119,76
15	Angulares HN ¼" x 3" x 20'	50,25	5 880,30

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Tubos

La siguiente tabla describe las medidas y los costos de cada uno de los tubos necesarios para los ceniceros traseros del sistema de recolección en seco.

Tabla XIV. Canales traseros

Cantidad	Material	Costo por Unidad (Q)	Costo total (Q)
1	tubo de acero inoxidable de 10" cédula 40 x 33´	31 207,6	31 207,6
1/2	tubo de acero inoxidable de 10" cédula 40 x 20´	9 456,64	9 456,64
1/2	tubo de acero inoxidable de 10" cédula 40 x 33´	9 456,64	9 456,64

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.3. Ejes

Las tablas XV y XVI describen la cantidad y medidas de los ejes que se utilizaron para la elaboración del transportador helicoidal instalado en el sistema de recolección en seco.

Tabla XV. Ejes frontales

Cantidad	Material	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)
1	Tubo de 5" x 33´	17 456,16	17 456,16
1	Tubo de 5" x 23´	12 160	12 160
1	Tubo de 5" x 23´	12 160	12 160

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Ejes traseros

Cantidad	Material	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)
1	Tubo de 4"x 33´	13 843,84	13 843,84
1	Tubo de 4"x 23´	12 429,2	12 429,2
1	Tubo de 4"x 23´	12 429,2	12 429,2

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.4. Tornillos

La siguiente tabla describe la cantidad de tornillos y las características necesarias para el sistema de recolección en seco.

Tabla XVII. Tornillos

Cantidad	Material	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)
100	Tornillo ½ x 2 grado 5	1,25	125,00

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Costos para materiales utilizados en el sistema de recolección en seco; especificaciones de materiales consumibles

A continuación se describen los electrodos, materiales abrasivos y materiales de limpieza mecánica necesarios en la elaboración del sistema de recolección en seco.

3.1.2.1. Electrodo

La tabla XVIII describe el tipo de electrodo con el que se trabajó, y la cantidad que se necesitó para la elaboración del nuevo sistema.

Tabla XVIII. Electrodo

Cantidad	Material	Costo total (Q)
25	Electrodos procut 80	2 041,00
110 lbs	Electrodo mg 600 de 3/32"	6 655,00
50 lbs	Electrodo inoxidable 308 de 3/32"	1 800,00
100 lbs	Electrodo inoxidable 309 L-16 de 3/32"	6 950,00
20	Boquillas para Procut 80	720,00

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.2. Abrasivos

La tabla XIX describe los materiales abrasivos utilizados en la elaboración del transportador helicoidal del sistema de recolección en seco.

Tabla XIX. Materiales abrasivos

Cantidad	Material	Costo por unidad (Q)	Total (Q)
12	Disco para pulir de 4-1/2"	9,54	114,48
1	Piedra para rotalima de 1"*1"	29,91	29,91
5	Lija esmeril 100	7,14	35,7
5	Lija esmeril 80	7,14	35,7
4	Disco para pulir de 9"	27,58	110,32

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.3. Limpieza mecánica

Tabla XX. Limpieza mecánica

Cantidad	Material	Costo por unidad (Q)	Total (Q)
4	Cepillo de alambre marca Jazz	22,38	89,52
2	Cepillo de alambre trenzado de copa de 2-1/2", M14	80,58	161,16

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Costos de herramientas utilizadas para el sistema

Se describen equipos como discos para cortar; también se describen equipos de soldaduras como electrodos para cortar metales y equipos de soldadura como electrodos para soldar inoxidables, todos estos utilizados en la elaboración del transportador helicoidal del sistema de recolección en seco.

3.1.3.1. Corte de metales

Tabla XXI. Corte de metales

Cantidad	Herramienta	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)
1	Equipo para oxicorte marca Harris	2 292,34	2 292,34
4	Disco para cortar de 4-1/2"	6,70	26,80

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.2. Soldadura

Tabla XXII. Herramientas de soldadura

Cantidad	Herramienta	Costo por libra (Q)	Costo total (Q)
20 libras	Electrodo inoxidable 308 L-16 de 1/8"	35,54	710,8
40 libras	Electrodo inoxidable 309-L16 de 1/8"	49,80	1 992,00

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.3. Neumática

Para las herramientas de neumática se utilizó un compresor de aire, el cual no se compró para el montaje de este proyecto, por lo que el costo no se tomará en cuenta debido a que ya se contaba con él.

Costo de otras herramientas:

Pulidora pequeña marca Bosch Q. 1 079,66

Pulidora Bosch grande Q. 1 988,44

Rotalima Q. 2 168,00

3.1.4. Costos de equipos necesarios para el sistema de recolección en seco

Las siguientes tablas describen los equipos necesarios para transmitir la potencia necesaria y hacer girar el transportador con un movimiento espiral.

3.1.4.1. Motores eléctricos

Tabla XXIII. Motores eléctricos

Cantidad	Equipo	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
8	Motor eléctrico de 7,5 HP	2 777,05	22 216,4

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2. Reductores de velocidad

Tabla XXIV. Reductores de velocidad

Cantidad	Equipo	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
8	Reductor Sumitomo 7,5 HP	20 255,53	162 044,24

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.3. Sprockets

Tabla XXV. Sprockets

Cantidad	Equipo	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
3	<i>Sprocket</i> 120B16	962,08	2 886,24
3	<i>Sprocket</i> 120B22	1 325,6	3 976,8
3	<i>Sprocket</i> 120B20	1 190,96	3 572,88
3	<i>Sprocket</i> 120B18	1 087,12	3 261,36

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.4. Cadenas de transmisión

Tabla XXVI. Cadenas de transmisión

Cantidad	Equipo	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
30 Pies	Cadena Sencilla RC120	226,00	6 780,00

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.5. Chumaceras y cojinetes

Tabla XXVII. Chumaceras y cojinetes

Cantidad	Equipo	Costo unitario (Q)	Total (Q)
6	Chumaceras <i>Flange</i> cuadrado p/eje 2-15/16"	1 842,54	11 055,24
6	Chumaceras <i>Flange</i> cuadrado P/eje 3-1/2"	4 386,8	26 320,8

Fuente: elaboración propia.

3.2. Costos de montaje e implementación del sistema de recolección en seco

Se cuantifican los costos necesarios en el montaje del nuevo sistema de recolección en seco.

3.2.1. Costo total de materiales necesarios para el sistema

Láminas	Q. 116 889,26
Tubería	Q. 50 120,88
Ejes	Q. 41 776,16
Tornillos	Q. 125,00
Electrodos	Q. 18 291,00
Abrasivos	Q. 326,11
Limpieza mecánica	Q. 102,96
Costo total de materiales necesarios:	Q. 266 356,33

3.2.2. Costo total de herramientas necesarias para el sistema

Corte de metales	Q 2 319,14
Soldadura	Q 2 702,80
Pulidora pequeña	Q 1 079,66
Pulidora grande	Q 1 988,40
Rotalima	Q 2 168,00
Costo total de herramientas es:	Q 10 258,04

3.2.3. Costo total de equipos necesarios para el sistema

Es la suma de los motores, reductores, sprockets, cadenas y chumaceras necesarios para el sistema.

Motores eléctricos	Q. 22 216,40
Reductores de velocidad	Q.162 044,24
Sprockets	Q. 13 697,28
Cadenas de transmisión	Q. 6 780,00
Chumaceras y cojinetes	Q. 37 376,04
Costo total de equipos:	Q. 242 113,96

3.2.4. Costo total de mano de obra para el proyecto

Tabla XXVIII. Mano de obra

Puesto	Sueldo ordi. (Q)	Sueldo extra. (Q)	Horas extras (Q)	Boni. Incentiva (Q)	Sueldo total mes (Q)	Sueldo total en proyecto (Q)
Soldador					5 000,00	30 000,00
Ayudante de mecánico	2 184,00	316,00	91,00	58,38	2 649,38	15 896,28
Rematador soldadura	1 392,00	405,6	58,00	58,38	1 913,98	11 483,88
Ayudante de soldador	1 488,00	868,00	62,00	58,38	2 486,38	14 858,28
Operador mecánico	1 752,00	1 020,00	73,00	58,38	2 903,38	17 420,28

Fuente: elaboración propia.

Costo total de la mano de obra para el sistema: Q 89 658,72

3.3. Costo total de la inversión

Referirse a las siguientes tablas:

Costo de materiales:	Q 266 356,33	tablas XIII - XX
Costo de herramientas:	Q 10 258,04	tablas XXI y XXII
Costo de equipos:	Q 242 113,96	tablas XXIII - XXVII
Costo de mano de obra:	<u>Q 89 658,72</u>	tabla XXVIII
Costo total	Q 608 387,05 = \$ 78 198,85	
Tasa de cambio =	7,78	

3.4. Beneficios esperados por la implementación del sistema de recolección en seco

A continuación se calculan los beneficios que se esperan obtener cuando ya se encuentre funcionando el sistema de recolección en seco.

3.4.1. Disminución del consumo de floculante para la clarificación del agua de lavado para los gases de combustión de las calderas

El floculante para el clarificador tiene un costo de Q. 18,45 por libra. Para época de zafra se utilizan 8 libras por tanque y son 8 tanques al día por 160 días de zafra.

$$8 \frac{\text{tanques}}{\text{dia}} * 160 \frac{\text{dias}}{\text{zafra}} = 1\ 280 \text{ tanques por zafra}$$

$$8 \frac{\text{lb}}{\text{tanque}} * 1280 \frac{\text{tanques}}{\text{zafra}} = 10240 \frac{\text{lb}}{\text{zafra}}$$

$$\frac{Q. 18,45}{\text{lb}} * 10240 \frac{\text{lb}}{\text{zafra}} = Q. 188928 \text{ por zafra}$$

Siendo Q.188 928,00 por zafra, el costo de floculante que hasta la zafra pasada se manejaba.

La capacidad de las bombas de agua limpia hasta la zafra pasada era de 4 000 gpm cada una; dado que son 2, la capacidad es de 8 000 gpm. Estas serán remplazadas por unas de 2 500 gpm capacidad, dando entre las 2, la capacidad es de 5 000 gpm.

El ahorro de floculante que se obtendrá se calcula por medio de una regla de tres:

8 000 gl/min ----- Q188 928,00 por zafra
 5 000 gl/min ----- x

$$x = \frac{5000,00 \frac{\text{gl}}{\text{min}} * Q. 188928,00 \text{ por zafra}}{8000 \frac{\text{gl}}{\text{min}}} = Q. 118080,00 \text{ por zafra}$$

Con las bombas de agua limpia trabajando con una menor capacidad, se espera obtener un ahorro de Q. 70 848 por zafra, siendo el nuevo costo para floculante de Q. 118 080 por zafra.

3.4.2. Optimizar el proceso de clarificación del agua de lavado de los gases de combustión en los separadores de hollín

El sistema de clarificación trabaja en base al agua de los lavadores de gases (*scrubbers*) y de los ceniceros de las calderas. Habrá una disminución de desechos aproximadamente de un 75%. Ello debido a que el sistema de recolectar en seco las cenizas de los ceniceros de las calderas vendrá a liberar la saturación que había en dicho sistema, el cual ya no se daba abasto con tanta demanda de desechos.

La disminución de la demanda en el sistema de clarificación se puede comprobar de la siguiente forma:

1 280 tanques/zafra ----- Q. 188 928 por zafra
X----- Q. 118 080 por zafra

$$x = \frac{\text{Q. 118 080 por zafra} * 1\ 280 \text{ tanques /zafra}}{\text{Q. 188 928 por zafra}} = 800 \text{ tanques/zafra}$$

En la próxima zafra del año 2010-2011 se esperan 800 tanques en toda la zafra, por lo que si habrá disminución en cuanto operación en el sistema de clarificación.

3.4.3. Optimizar el consumo de agua de inyección en las calderas del Ingenio

La optimización del consumo de agua se dará no solo en la capacidad de las bombas, sino también en la potencia de los motores de las bombas.

Los motores de 250 HP serán remplazados por motores de 150 HP. Ahora se trabajará con 100 HP menos, por cuanto el ahorro de energía será el siguiente:

Con 250 HP se consume.

$$250 \text{ Hp} * \frac{0,746 \text{ Kw}}{1 \text{ hp}} = 186,5 \text{ Kw}$$

El precio de la energía eléctrica es de 0,10 US \$/Kw

Entonces: $186,5 \text{ Kw} * 4\,000 \text{ horas por zafra} * \$ 0,1 = \$ 74\,600$ por zafra

Con 150 HP se consume.

$$150 \text{ Hp} * \frac{0,746 \text{ Kw}}{1 \text{ hp}} = 111,9 \text{ Kw}$$

Ahorro de energía eléctrica: 74,6 kw.

El precio de la energía eléctrica es de 0,10 US \$/Kw

Entonces: $111,9 \text{ kw} * 4\,000 \text{ horas por zafra} * \$ 0,1 = \$ 44\,760$ por zafra

Habrá un ahorro de $\$ 29\,840$ por zafra $* Q8,00 / \$1,00 = Q 238\,720,00$ por zafra

Ahorro total: $Q. 70\,848$ por zafra + $Q. 238\,720,00$ por zafra = $Q 309\,568,00$ por zafra

3.5. Evaluación de la Inversión

Para la evaluación de la inversión se utilizará el método del valor presente neto, en el cual se verá el comportamiento del flujo de dinero en el tiempo.

3.5.1. Elaboración para medir rentabilidad del proyecto por medio del método VPN (valor presente neto)

Para medir la rentabilidad de un proyecto se tienen que medir los ingresos y egresos que podrá tener el proyecto. El sistema de recolección en seco de ceniza de las calderas tendrá egresos en cuanto a mantenimiento y depreciación del equipo, los cuales describiremos a continuación.

Egresos

Mantenimiento preventivo: este se hará mensualmente para las chumaceras del sistema. Se aplicará grasa para alta temperatura marca SKF LGWA2/5 cada mes.

Los cojinetes pueden cambiarse aproximadamente 3 veces por zafra.

Costo de 1 cojinete = Q. 500 *3= Q. 1 500 por zafra

Insumos: grasa

$\frac{1}{2}$ lb de gasa * 10 chumaceras/gusano * 6 meses de zafra = 30 lb/zafra

Costo de grasa Q24,60/lb*30Lb/zafra= Q 738/zafra

Costo de reparación del sistema (depreciación) por zafra = \$ 78 198,85*10%

= \$7 819,89 por zafra *Q. 7,78/\$1,00 = 60 838,75 Q. por zafra

Costo total de egresos por mantenimiento: Q. 63 076,75 por zafra.

Utilidad del proyecto: Ingresos – Costos de Generación

Utilidad = Q. 309 568,00 – Q. 63 076,75 = Q. 246 491,25

Tiempo para recuperar la inversión del proyecto:

Tiempo de recuperación = Costo de la Inversión/Utilidad

Tiempo de recuperación = Q. 608 387,05/Q. 246 491,25 = 2,56 años

El tiempo de recuperación es aproximadamente 3 años.

En base al tiempo de recuperación se calcula el valor presente neto:

VPN: Esta es una alternativa que sirve para tomar decisiones sobre una inversión, lo cual permite determinar si vale la pena o no realizarla, y no hacer malas inversiones que provoquen pérdidas a futuro.

Con el valor presente neto se pueden tener tres posibles respuestas las cuales son:

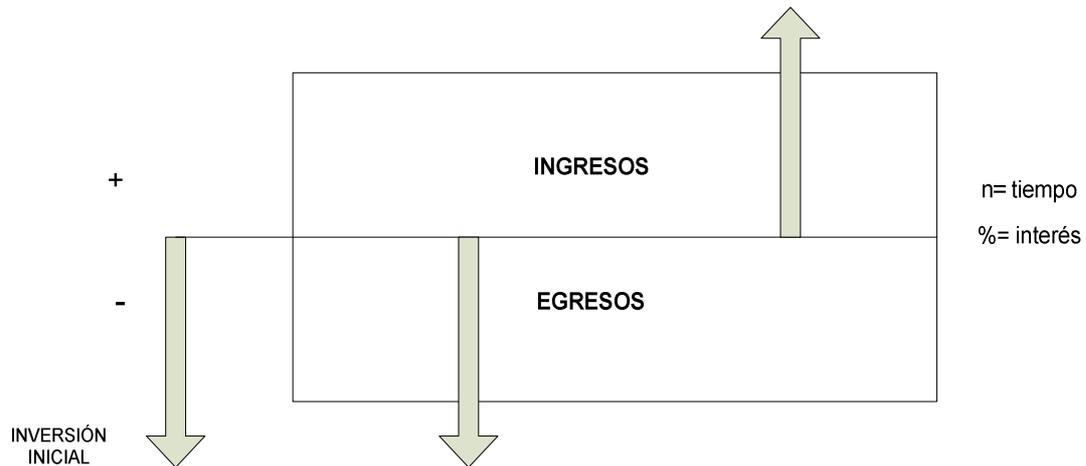
VPN < 0

VPN = 0

VPN > 0

Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés o por el contrario si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia. Cuando el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente.

Figura 32. Diagrama de flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia.

El valor presente neto lo calcularemos en base a la siguiente fórmula:

$$VPN= -Inversión+(Ingresos-Egresos) \left[\frac{(1+\%)^n-1}{\% \times (1+\%)^n} \right]$$

Para este caso se tomará un tiempo de recuperación de 3 años.

Entonces:

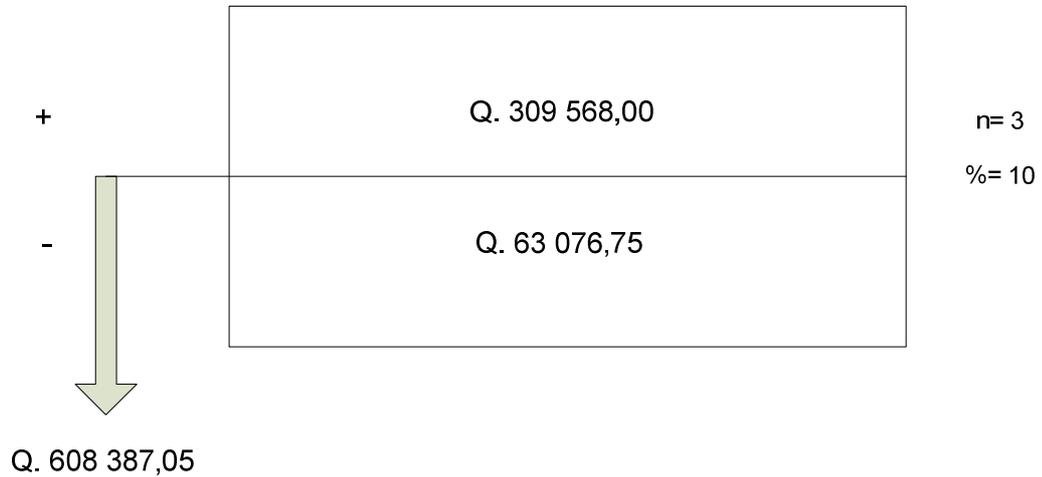
Inversión Inicial = Q 608 387,05

Costo anual = Q 63 076,75

Ingresos/año = Q 309 568,00

Tasa del proveedor = 10%

Figura 33. Diagrama de flujo de efectivo del proyecto



Fuente: elaboración propia.

El valor presente neto lo calcularemos en base a la siguiente fórmula:

$$VPN = -Inversión + (Ingresos - Egresos) \left[\frac{(1 + \%)^n - 1}{\% \times (1 + \%)^n} \right]$$

Entonces:

% = 10% tasa del proveedor

n = 3 años

Cálculo para 3 años

$$VPN = -608\,387,05 + (309\,568 - 63\,076,75) \left[\frac{(1 + 0,10)^3 - 1}{0,10 \times (1 + 0,10)^3} \right] = 4\,600,20$$

Por lo tanto para un tiempo de 3 años el proyecto sí es viable de acuerdo al método del valor presente neto.

4. ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDERAS

4.1. Presentación del nuevo sistema

El sistema para recolectar en seco las cenizas del hogar de las calderas consiste en un transportador helicoidal instalado en los ceniceros del hogar de las calderas de bagazo. Los ceniceros son frontales y traseros.

Las calderas del Ingenio La Unión S.A, hasta la zafra pasada trabajaron con un sistema de circuito cerrado, el cual consistía en un canal de agua que recolectaba los desechos de los ceniceros y los conducía hacia el sistema de clarificación.

Para la zafra 2010-2011 se pretenderá que todas las calderas trabajen con el sistema en seco, por lo que en tiempo de reparación se inició el proceso para poner en marcha el proyecto. En la siguiente tabla se describe la programación de la capacitación que se realizó con el personal del departamento de calderas en época de reparación.

Tabla XXIX. Programación de actividades

Actividad	Capacitador	Personal capacitado	Tiempo de duración semana del 16 al 20 de agosto del 2010
Arranque del sistema de recolección en seco	Ing. Luis Méndez y Diana Ríos	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de turno del área de calderas • Supervisor de calderas • Operadores mecánicos • técnicos 	primera hora, durante la semana de capacitación
Operación normal del sistema de recolección en seco	Ing. Luis Méndez y Diana Ríos	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de turno área de calderas • Supervisor de calderas • Operadores mecánicos • técnicos 	segunda hora, durante la semana de capacitación
Paradas del sistema de recolección en seco	Ing. Luis Méndez y Diana Ríos	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de turno área de calderas • Supervisor de calderas • Operadores mecánicos • técnicos 	tercera hora, durante la semana de capacitación

Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Identificación de equipos que componen el sistema

Motores eléctricos: Son motores con un Hp de 7,5, los cuales se colocarán junto con el reductor en el eje del transportador helicoidal.

Figura 34. Motores eléctricos, para el sistema de recolección en seco



Fuente: Ingenio La Unión.

Reductores para el sistema de recolección en seco son marca SUMITOMO, con una velocidad de entrada de 1 750 rpm y una velocidad de salida de 60,34 rpm. La siguiente figura muestra el reductor para el sistema de recolección en seco de ceniza.

Figura 35. Reductor, para el sistema de recolección en seco



Fuente: Ingenio La Unión.

Sprockets: se utilizan *sprockets* para el motor, reductor y sello del transportador helicoidal. Los *sprockets* varían de acuerdo el eje, al cuñero y al número de dientes que tiene cada uno.

Figura 36. Sprockets, instalados en el sistema de recolección en seco



Sprockets del transportador helicoidal
Sprockets en sello del transportador helicoidal

Fuente: Ingenio La Unión.

Chumaceras. Las chumaceras utilizadas para el sistema de recolección en seco son de tipo brida. Se utiliza este tipo de chumaceras debido a la fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal, donde se produce una fuerza axial.

Figura 37. Chumaceras para el sistema de recolección en seco



Fuente: Ingenio La Unión.

4.1.2. Funcionamiento del nuevo sistema

Para poder recolectar en seco los desechos que emite el hogar de la caldera, se instaló en el cenicero frontal y trasero un sistema, el cual consiste en un transportador helicoidal recto. Este trabajará sin necesidad de que fluya agua por el canal.

El sistema trabajará a base de un motor eléctrico el cual transmitirá la potencia necesaria para hacerlo girar. Este sistema es muy utilizado por los ingenios brasileños.

Figura 38. Artesa (canao) del transportador helicoidal instalado en el cenicero de la caldera



Fuente: Ingenio La Unión.

En la siguiente figura se observa el transportador helicoidal instalado dentro de la artesa, junto con el sello del transportador, el cual evitará que se filtre el aire dentro del hogar de las calderas.

Figura 39. Artesa (canao), transportador helicoidal y sello instalado en el cenicero de la caldera



Sello del transportador

Fuente: Ingenio La Unión.

En la siguiente figura se observa el sistema de recolección en seco de ceniza instalado en el cenicero frontal de la caldera número cinco.

Figura 40. Sistema de recolección en seco instalado



Fuente: Ingenio La Unión.

4.1.3. Beneficios que traerá el nuevo sistema al departamento de calderas

- Reducción de emisión de gases dañinos al medio ambiente.
- Evitar derrames al río Petayá (efluentes), ya que el sistema de clarificación trabajará sin sobre carga durante época de zafra.
- Disminución del consumo de agua de inyección en las calderas del Ingenio.

4.2. Equipo de seguridad industrial necesario para trabajar con el nuevo sistema de recolección en seco

Se describen a continuación los equipos de seguridad aptos para el área de calderas:

4.2.1. Protección para el sistema respiratorio (para calderas)

Mascarilla con filtro N95, con válvula de exhalación frontal.

Figura 41. Mascarilla con filtro (especial para operarios en calderas)



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Protección para manos

Guantes tejidos con palma de latex. (para trabajo general). Guates para soldador con hilo *Kevlar*.

Figura 42. Guates para soldador (especial para operarios de calderas)



Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Gafas protectoras

Visor para altas temperaturas, con recubrimiento de gorro.

Figura 43. Visor para altas temperaturas (especial para operarios de calderas)



Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Botas industriales

Botas Marblin, con punta de acero, resistencia de suela a 180 °C, resistencia a hidrocarburos, suela de acero, punta de acero y es impermeable.

Figura 44. Botas (especiales para operarios de calderas)



Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Protección para oídos

Figura 45. Auditivos anatómicos.



Fuente: elaboración propia.

4.3. Plan de Mantenimiento (según el ciclo de mejora continua, PHVA)

4.3.1. Limpieza

- Limpiar canal y transportadores helicoidal
Es muy importante la limpieza en los canales y transportadores helicoidales, ya que si se encuentran objetos muy grandes entre el canal y el transportador, el sistema no trabajará con efectividad y puede sufrir desgaste en los cojinetes de las chumaceras. Por este motivo es muy importante verificar el sistema por medio de sus respectivos registros, para asegurarse que no haya algún tipo de objeto que lo pueda dañar.
- Limpiar motores y motoreductores
Es necesario que los motores eléctricos y motoreductores se encuentren libres de polvo y suciedad, ya que este factor incide directamente en el

funcionamiento de los mismos. Un motor cubierto de polvo, no es capaz de disipar correctamente la temperatura de trabajo, pudiendo llegar a un punto extremo de deteriorarse el aislamiento del motor. Esto puede ocasionar que algún elemento de funcionamiento del mismo trabaje inadecuadamente, tal es el caso del interruptor centrífugo o bujes, etc.

4.3.2. Lubricación

- Revisar el nivel de aceite en los reductores.
Antes de que el sistema empiece a funcionar, el operario de turno debe verificar cómo se encuentra el nivel de aceite en los reductores. Es aconsejable lubricar cada 8 días de operación normal.
- Revisar la lubricación de las chumaceras.
Es muy importante lubricar una chumacera, debido a que si no se efectúa este procedimiento se puede dañar irreparablemente el cojinete. Es muy importante lubricar con grasa. Para el sistema de recolección en seco se utilizará grasa para alta temperatura marca SKF LGWA 2/5, en un período de cada mes.
- Lubricación de cadenas de transmisión
La lubricación en cadenas es de mucha importancia. Si no se lubrica el sistema no tendrá una transmisión de potencia adecuada y tendrán problemas con los dientes de los *sprockets*, lo que puede causar la pérdida de la cadena. Ésta se puede lubricar con mucha mayor frecuencia que las chumaceras y los motoreductores.

4.3.3. Pruebas

Las pruebas consisten en una evaluación de la capacitación como parte final. Se procedió a evaluar el nivel de comprensión del contenido a través de una prueba escrita, dándole a conocer a cada participante el resultado de la misma, con el propósito de que reconocieran sus debilidades y las fortalezcan.

El instrumento que se utilizó para la evaluación, se describe a continuación. Consta de ocho preguntas, cinco utilizando la técnica de falso y verdadero y tres preguntas con la técnica de completación.

Instrumento de evaluación para la Capacitación del sistema de recolección en seco de ceniza del hogar de las calderas de bagazo del Ingenio La Unión.

INSTRUCCIONES: a continuación se le solicita que para los siguientes planteamientos, coloque la letra V dentro del paréntesis si lo considera verdadero o coloque la letra F si lo considera falso.

- 1) Cuando el sistema de recolección en seco se encuentre trabajando en operación normal, se debe revisar en cada cambio de turno las temperaturas de las chumaceras. ()
- 2) En el arranque del sistema de recolección en seco es importante revisar el nivel de aceite en los reductores. ()
- 3) Para el tiempo de reparación es necesario desmontar la cadena de transmisión del sistema de recolección en seco. ()
- 4) En operación normal del sistema de recolección en seco no es de importancia monitorear ruidos anormales. ()

- 5) Para el arranque del sistema de recolección es importante verificar que los sellos del transportador helicoidal estén libres de objetos extraños. ()

A continuación se solicita que responda las siguientes preguntas:

- 1) Mencione tres actividades importantes que se deben de efectuar cuando se pare el sistema de recolección en seco.
- 2) Mencione dos causas que provocarían paros innecesarios en el sistema de recolección en seco.
- 3) ¿Cuál es el equipo en el sistema de recolección en seco que se le debe revisar el nivel de aceite?

Fotografías de Capacitación al departamento de calderas impartida por el Ing. Luis Méndez y Diana Ríos.

Las siguientes figuras 46, 47, 48, 49 y 50 muestran a los operarios del departamento de caderas en la capacitación. Donde se les dio a conocer el nuevo sistema de recolección en seco.

Figura 46. Operarios del departamento de calderas en capacitación a



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 47. Operarios del departamento de calderas en capacitación b



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 48. Operarios del departamento de calderas en capacitación c



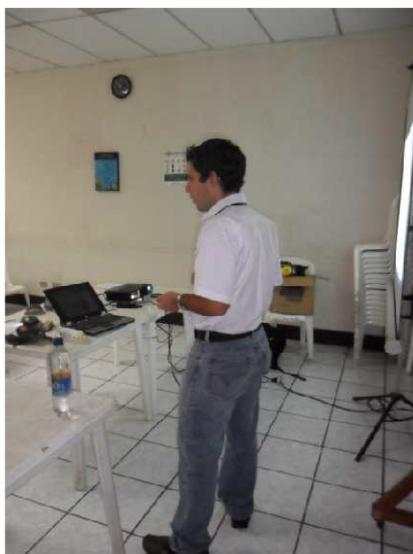
Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 49. Operarios del departamento de calderas en capacitación d



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 50. Operarios del departamento de calderas en capacitación e



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 51. Operarios del departamento de calderas en capacitación f



Fuente: Ingenio La Unión.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó el sistema de recolección en seco de ceniza, a base de un transportador horizontal helicoidal instalado en el cenicero frontal y trasero de las calderas, cubierto por una artesa o canoa; impulsado por un motorreductor, *sprockets* y cadenas utilizadas para hacer posible la transmisión de potencia del motorreductor y poder generar el movimiento en espiral, el cual hace posible la evacuación de las cenizas que son emanadas por el hogar de las calderas. Con este sistema se optimizó el funcionamiento del sistema de clarificación y redujo las emisiones nocivas al medio ambiente.
2. El agua que se inyecta a las calderas será suministrada por el sistema de clarificación por medio de dos bombas con menor capacidad a las de zafra pasadas, teniendo un ahorro de energía de 74,6 kw, y un ahorro de floculante utilizado para la decantación de desechos de Q. 70 848 por zafra, durante el tiempo de zafra azucarera.
3. Con el sistema de recolección en seco se espera un óptimo funcionamiento en tiempo de operación del sistema de clarificación de ceniza, debido a que este sistema únicamente trabajará con el agua procedente de los lavadores de gases (*scrubbers*), disminuyendo de 1 280 tanque/zafra de agua con ceniza proveniente de las calderas a 800 tanque/zafra teniendo una diferencia de 480 tanque/zafra.

4. La disminución de emisiones tóxicas al medio ambiente será posible debido a que los lavadores de gases (*scrubbers*) trabajarán con una mayor presión, limpiando de una mejor manera los gases que salen por la chimenea de las calderas.
5. Se cuantificó un análisis de costos, de donde se obtuvieron los costos de materiales, herramientas, equipos y mano de obra necesarios para la elaboración del proyecto, sumando un costo total de Q. 608 387,05 necesarios para la instalación del sistema de recolección en seco de ceniza en el hogar de las calderas de bagazo.
6. Según el método del valor presente neto (VPN), debido a los cálculos de costo de la inversión, ingresos y egresos que tendrá el proyecto, el tiempo considerado para recuperar la inversión es de 3 años. Se considera éste un tiempo prudente, ya que es un proyecto que no solo beneficiará al ingenio sino también a todas las regiones aledañas al mismo.
7. Se capacitó al personal del departamento de calderas, para darles a conocer los equipos (motores eléctricos, reductores, sprockets, cadenas de transmisión, chumaceras y cojinetes) que integran el sistema de recolección en seco, explicándoles el tipo de mantenimiento que se debe aplicar cuando inicie la zafra azucarera, así como cuando se encuentren en tiempo de reparación.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Ingenio La Unión elaborar nuevamente la Misión y la Visión de la empresa. Ya que en la Misión se propone la razón por la cual existe la empresa, a continuación se propone la siguiente: producir caña, azúcar y electricidad con altos estándares de calidad que superen las expectativas de los clientes y consumidores en el mercado nacional e internacional. Dado que la Visión actual en el ingenio es muy corta se propone la siguiente: ser el ingenio azucarero líder que se distinga por la excelencia en sus procesos productivos que generen productos de alta calidad, que satisfagan plenamente las necesidades de los clientes.
2. Es aconsejable hacer las inspecciones respectivas de las calderas. Se recomienda al ingeniero del área de calderas y al supervisor, verificar junto con los operarios el sistema de recolección en seco antes de iniciar con el arranque de zafra azucarera.
3. Se recomienda a los operarios del departamento de calderas dar mantenimiento preventivo al motor eléctrico, reductor de velocidad, *sprockets*, chumaceras y cadenas de transmisión, por lo menos una vez por semana, para evitar paradas innecesarias durante el tiempo de zafra, prolongando la vida útil de los equipos.
4. Cuando se requiera un transportador helicoidal se deben tomar en cuenta factores como: características del material. Y temperatura a las que estarán expuestos. Dado a que existirán deflexiones en el transportador y expansiones, es recomendable que los ingenieros encargados de diseñar

el transportador dejen un espacio de ½ “ entre el transportador helicoidal y la artesa o canal.

5. Se recomienda a los operarios del área de calderas que utilicen su equipo de protección, tales como guantes para la manipulación de ceniza, mascarillas de protección nasal, botas industriales, protección auditiva, la cual es muy importante para cuando purgan la caldera, y casco para protección de caídas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, Theodore. *Manual de Ingeniero Mecánico*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 1992. Cap. 9. 316 p.
2. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. México: McGraw- Hill, 1998. 218 p.
3. GUERRERO SPINOLA DE LOPEZ, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos: conceptos básicos*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, 2005. 81 p.
4. LEZANA CHAJÓN, Luis Alberto. “Análisis de operación y funcionamiento de un clarificador de agua, oriunda de lavado de gases en calderas del Ingenio La Unión, S.A.” Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 56 p.
5. MEDEIROS DE ALBUQUERQUE, Fernando. *Procesos de fabricación de azúcar*. Brasil: Editorial Universitaria UFPE, 2009. 119 p.
6. MELGAR SAMAYOA, Ennio Hugo. “Eficiencia en calderas acuatubulares del Ingenio La Unión. S.A.” Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 90 p.

7. NIEBEL, Benjamin. *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. 11a. ed. México: 2004. 744 p.
8. SPROCKET, Martin. *Manual del fabricante*. Texas, Estados Unidos: 1995. 401 p.

ANEXO

Tabla 11-2 Suplementos recomendados por ILO

A. Suplementos constantes:	
1. Suplemento personal	5
2. Suplemento por fatiga básica	4
B. Suplementos variables:	
1. Suplemento por estar de pie	2
2. Suplemento por posición anormal:	
a. un poco incómoda	0
b. incómoda (agachado)	2
c. muy incómoda (tendido, estirado)	7
3. Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, jalar o empujar):	
Feso levantado, en libras:	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Mala iluminación:	
a. un poco abajo de la recomendada	0
b. bastante menor que la recomendada	2
c. muy inadecuada	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad) - variable	0-100
6. Atención requerida:	
a. trabajo bastante fino	0
b. trabajo fino o preciso	2
c. trabajo muy fino y muy preciso	5
7. Nivel de ruido:	
a. continuo	0
b. intermitente -fuerte	2
c. intermitente -muy fuerte	5
d. de tono alto -fuerte	5
8. Estrés mental:	
a. proceso bastante complejo	1
b. atención compleja o amplia	4
c. muy compleja	8
9. Monotonía:	
a. nivel bajo	0
b. nivel medio	1
c. nivel alto	4
10. Tédio:	
a. algo tedioso	0
b. tedioso	2
c. muy tedioso	5