



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

**MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE
PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTIÓN
DE BAGAZO DE CAÑA**

Ernesto Alonzo Muñoz Morales

Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE
PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTION
DE BAGAZO DE CAÑA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERNESTO ALONZO MUÑOZ MORALES
ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIA	Inga. 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:

MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTIÓN DE BAGAZO DE CAÑA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de junio del año 2016.

Ernesto Alonzo Muñoz Morales

Guatemala, 20 de julio de 2020

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ingeniero Morales

Por este medio me dirijo a usted para informarle que habiendo asesorado al estudiante **Ernesto Alonzo Muñoz Morales** con carnet No. **1997-12108**, en el trabajo de graduación **“Modificación de un depurador de gases para minimizar la emisión de partículas contaminantes en una caldera acuotubular de combustión de bagazo de caña”** y llenando este *los objetivos trazados, extendiendo la aprobación del mismo.*

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me suscribo atentamente.

Ingeniero Edwin Josué Ixpata Reyes
Asesor



Edwin Josué Ixpata Reyes
ING. MEC. INDUSTRIAL
COL. No. 7128

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen favorable del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado “**MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTIÓN DE BAGAZO DE CAÑA**” desarrollado por el estudiante **Ernesto Alonzo Muñoz Morales**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador Área Térmica



Guatemala, agosto del 2,021

RGO/

Ref.E.I.M.149.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTIÓN DE BAGAZO DE CAÑA** del estudiante **Ernesto Alonzo Muñoz Morales**, CUI **2328693400501**, Reg. Académico **9712108** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2021
/aej



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 673.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MODIFICACIÓN DE UN DEPURADOR DE GASES PARA MINIMIZAR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE COMBUSTIÓN DE BAGAZO DE CAÑA**, presentado por el estudiante universitario: **Ernesto Alonzo Muñoz Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** El gran YO SOY que libró a su pueblo de Egipto y que día con día no me ha desamparado, culminando así este gran logro.
- Mis padres** Oscar Muñoz y Delfina Morales Rodríguez, quienes a pesar de todas las tribulaciones estuvieron siempre de pie luchando.
- Mis hermanos** Oscar Arturo, Elvis Orlando y David Leonel Muñoz Morales, que a pesar de que somos distintos; siempre estamos ahí para darnos una mano.
- Mis sobrinos** Carlos Alejandro Quiñonez Acajabón, Randy Moisés Muñoz Herrera, Brandon Alexander Muñoz Herrera, Dara Noemí Muñoz Cruz, Carolyn Mishel Muñoz Lucero y Oscar Ezequiel Muñoz Lucero, que mi ejemplo les sirva para forjar un buen futuro.
- Mi familia** A cada uno de ellos les agradezco por formar parte importante en mi vida, cada uno es un pedazo de mi historia de vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa casa de estudios donde pude obtener uno de mis sueños.
Facultad de Ingeniería	Porque fue ahí donde adquirí los conocimientos necesarios, que me han ayudado durante todo este tiempo.
Mis instructores	Jorge Armando Flores Castro, Luis Arturo Nájera Morales y Ernesto López Fuertes, gratitud infinita; ya que fueron ellos los que me formaron profesionalmente.
Mi asesor	Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes, mi gratitud por todo su apoyo y consejos para lograr culminar este proyecto.
Mis amigos	Que durante todo este tiempo hemos compartido muy buenas experiencias.
Ingenio azucarero	Por ser el establecimiento que me abrió las puertas para realizar todo el aprendizaje, que me ayudó a la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEORÍCO.....	1
1.1. Vapor	1
1.2. Bagazo de caña.....	2
1.2.1. Origen	2
1.2.2. Composición	2
1.3. Combustión	3
1.4. Calderas	4
1.4.1. Caldera de fundición seccional	4
1.4.2. Caldera pirotubular	4
1.4.3. Caldera acuotubular.....	4
1.5. Equipos auxiliares de calderas	5
1.5.1. Bombas.....	5
1.5.1.1. Bombas centrifugas	5
1.5.1.2. Bombas de diafragma.....	6
1.5.1.3. Bombas multietapas	6
1.5.2. Ventiladores.....	7
1.5.2.1. Ventilador tiro inducido	7

	1.5.2.2.	Ventilador tiro forzado	7
	1.5.2.3.	Ventilador tiro forzado secundario	7
	1.5.2.4.	Ventilador sobre fuego	8
	1.5.2.5.	Ventilador neumático	8
1.5.3.		Chimenea	8
1.5.4.		Equipos suavizadores de agua	8
1.5.5.		Válvulas	9
	1.5.5.1.	Válvula de bola o paso rápido	9
	1.5.5.2.	Válvula de mariposa	10
	1.5.5.3.	Válvula de compuerta	10
	1.5.5.4.	Válvula de globo	10
	1.5.5.5.	Válvula de globo tipo Y	10
	1.5.5.6.	Válvula tipo cheque o anti-retorno	11
1.6.		Turbinas de vapor	11
1.7.		Deareador	11
1.8.		Plantas termoeléctricas	12
	1.8.1.	Plantas termoeléctricas convencionales	13
	1.8.2.	Plantas termoeléctricas de ciclo combinado	13
1.9.		Impacto ambiental	14
2.		DESARROLLO DEL PROYECTO	17
	2.1.	Distribución de calderas dentro del ingenio	17
		2.1.1. Calderas línea de 250 PSI	17
		2.1.2. Calderas línea de 600 PSI	17
	2.2.	Operación de las calderas	18
		2.2.1. Supervisor	18
		2.2.2. Operador de sala de calderas	19
		2.2.3. Operador de caldera	19
		2.2.4. Auxiliar de caldera	20

2.2.5.	Operador conductores de bagazo	20
2.2.6.	Analista de agua de calderas.....	21
2.2.7.	Cenicero	22
2.3.	Cenizas producto de la combustión de bagazo	22
2.4.	Manejo de cenizas.....	22
2.4.1.	Manejo por medio de recolectores de ceniza	23
2.4.2.	Manejo por medio de ceniceros.....	24
2.5.	Impacto en equipos	25
2.6.	Mantenimiento de tubería de calderas.....	25
2.6.1.	Tubería de sobre-calentador.....	26
2.6.2.	Tubería de banco de convección.....	27
2.6.3.	Tubería de pre-calentador de aire	28
2.6.4.	Tubería de economizador de agua	29
2.7.	Mantenimiento de ductos.....	30
2.8.	Mantenimiento de ventiladores tiro inducido.....	31
2.9.	Mantenimiento de carcasas de ventiladores tiro inducido	32
2.10.	Análisis	33
2.11.	Cálculos.....	34
2.12.	Diseño	34
2.13.	Montaje.....	39
2.13.1.	Trazo.....	39
2.13.2.	Corte.....	40
2.13.3.	Montaje	40
2.13.4.	Soldadura	40
2.14.	Comparativo de zafra antes y después de la instalación.....	43
3.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	45
3.1.	Gases de escape.....	45
3.1.1.	Nitrógeno (N ₂).....	45

3.1.2.	Dióxido de carbono (CO ₂).....	45
3.1.3.	Vapor de agua (H ₂ O).....	46
3.1.4.	Oxígeno (O ₂)	46
3.1.5.	Monóxido de carbono (CO)	46
3.1.6.	Óxidos de nitrógenos (NO _x).....	47
3.1.7.	Dióxido de azufre (SO ₂).....	47
3.1.8.	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	47
3.1.9.	Sólidos.....	47
3.2.	Recolectores de ceniza	48
3.3.	Aguas residuales.....	48
3.4.	Planta de tratamiento de aguas residuales	49
3.4.1.	Fosa receptora de aguas residuales	50
3.4.2.	Celdas de sedimentación	51
3.4.3.	Filtros rotatorios para filtración de aguas residuales.....	52
3.4.4.	Concentrador de lodos	53
3.4.5.	Prensa de lodos.....	54
3.5.	Capacitación de personal para operar el nuevo sistema de lavado.....	55
4.	LA INDUSTRIA AZUCARERA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	59
4.1.	Manejo y uso del agua	59
4.2.	Calidad del aire	60
4.2.1.	Fuentes fijas.....	60
4.2.2.	Calidad de aire ambiental.....	62
4.3.	Uso y aplicación de agroquímicos.....	62
4.3.1.	Autorización nacional y específica de agroquímicos al cultivo	63

4.3.2.	Dosificación correcta con base en los límites máximos de residuos permitidos por el mercado....	63
4.3.3.	Seguridad en el manejo de agroquímicos.....	64
4.4.	Usos de residuos	64
4.4.1.	Bagazo.....	64
4.4.2.	Cenizas.....	64
4.4.3.	Cachaza.....	64
4.4.4.	Aguas residuales	64
4.4.5.	Reutilización de agua.....	65
4.4.6.	Melaza	65
4.4.7.	Vinaza.....	65
4.5.	Conservación de la biodiversidad	65
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	67
5.1.	Costo histórico	67
5.2.	Costo de fabricación y montaje de depurador de gases.....	68
5.3.	Costo de operación.....	70
5.4.	Costo de transporte	71
5.5.	Mantenimiento preventivo de ventilador tiro inducido	71
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cambios de estado del agua.....	1
2.	Bomba de 4 etapas	6
3.	Deareador	12
4.	Termoeléctrica convencional.....	13
5.	Planta termoeléctrica de ciclo combinado	14
6.	Canal para transporte de ceniza.....	23
7.	Centro de acopio de cenizas	24
8.	Elemento de sobrecalentador.....	26
9.	Banco de convección de una caldera acuotubular	27
10.	Precalentador de aire de una caldera acuotubular	28
11.	Elemento de economizador de agua de una caldera acuotubular.....	29
12.	Ducto para transporte de ceniza.....	30
13.	Daño de ventilador tiro inducido al finalizar la zafra.	32
14.	Carcasa de ventilador tiro inducido	33
15.	Diagramas de recolectores de ceniza	36
16.	Diagramas de recolectores de ceniza	36
17.	Diagrama de depurador de ceniza	37
18.	Diagrama de movimiento de gases de escape.....	37
19.	Diagrama de instalación de boquillas de aspersion.....	38
20.	Boquilla aspersora esférica tipo bete.....	39
21.	Fotografía del montaje del depurador de gases	42

22.	Gráfica de operación de la caldera antes y después de la instalación.	43
23.	Recolectores de ceniza	48
24.	Sistema de tratamiento de aguas residuales	50
25.	Fosa receptora de aguas residuales	51
26.	Celdas de sedimentación	52
27.	Filtros rotativos	53
28.	Prensa de lodos	54
29.	Formato de control de planta de tratamiento de aguas residuales	55
30.	Arranque de planta de cenizas	56
31.	Cronograma de capacitación de planta de cenizas	58

TABLAS

I.	Tabla de parámetros para control de agua de calderas	21
II.	Cronograma de actividades para diseño	35
III.	Cronograma de actividades para fabricación	41
IV.	Valores máximos permisibles	61
V.	Valores máximos permisibles	62
VI.	Costo de reparación de ventilador tiro inducido	68
VII.	Costo de fabricación	69
VIII.	Costo de mano de obra	70
IX.	Mano de obra para operación de planta de ceniza	70
X.	Costo de transporte de ceniza	71
XI.	Costo de mantenimiento preventivo de ventilador tiro inducido	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H₂O	Agua
SO₂	Anhídrido sulfuroso
S	Azufre
Ca²⁺	Calcio
C	Carbono
Cu	Cobre
Cr	Cromo
CO₂	Dióxido de carbono
P	Fósforo
°C	Grado centígrado
Fe	Hierro
Mg²⁺	Magnesio
Mn	Manganeso
MW	Megavatio
CO	Monóxido de carbono
Mo	Molibdeno
ppm	Partes por millón
ASME	Sociedad americana de ingenieros mecánicos
ASTM	Sociedad americana para pruebas y materiales
Si	Sílice
Na+	Sodio
PSI	Libra por pulgada cuadrada

GLOSARIO

Alabe	Es una paleta curva que forma parte del rodete de una turbina la cual contiene muchos alabes, son los encargados de recibir el vapor y darle movimiento a la turbina.
Blindaje (ventilador)	Revestimiento con electrodo que se le hace a un ventilador para que sea capaz de soportar la abrasión.
Cambio climático	Variación global del clima de la tierra.
Combustible	Material capaz de arder en combinación con el oxígeno.
Diafragma	Dispositivo mecánico de una bomba, que varía el volumen del fluido en una cámara; aumentándolo o disminuyéndolo alternativamente.
Ebullición	Es el proceso físico por el cual la totalidad de la masa de un líquido se convierte al estado gaseoso.
Embolo	Pieza que se mueve dentro de un cuerpo de una bomba de desplazamiento positivo para producir la compresión de un fluido.

Energía cinética	Es la energía que posee un cuerpo, debido a su movimiento.
Energía térmica	Energía liberada en forma de calor, pasa de un cuerpo más caliente a otro que presenta menos calor.
Evaporación	Es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso.
Exacerbación	Aumento o intensificación de los síntomas de una enfermedad.
Fenómeno el niño	Fenómeno climático que altera la temperatura del pacifico, provocando inundaciones, ausencia de lluvia e incendios forestales.
Hogar	Parte de una caldera donde se quema el combustible.
Impulsor	Disco giratorio en una bomba centrifuga, que sirve para mover algún fluido.
MAGA	Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.
Precio spot	Precio pactado para transacciones de compra o venta de energía al precio de mercado inmediato.

Presión atmosférica	Es la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie de la tierra
Punto de ignición	Es la presión y temperatura que una sustancia necesita para empezar a arder y que se mantenga la llama sin necesidad de calor exterior.
Sobrecalentador	Intercambiador de calor que se utiliza para transferir la temperatura de gases de combustión al vapor saturado.
Solubilizar	Es el acto de disolver una sustancia con otra.
Sublimación	Es el cambio de estado sólido a gaseoso del hielo, se da cuando la radiación del sol es fuerte per la temperatura es muy baja.

RESUMEN

En el departamento de generación de vapor de un ingenio azucarero, al cual por cuestión de normas de dicha empresa; se omitirá su nombre llamándosele de aquí en adelante “ingenio azucarero”.

Durante estos últimos diez años se ha observado cómo crece a pasos agigantados la industria azucarera, se ve que ha ido produciendo variedad de productos terminados: Los tradicionales, como: azúcar crudo, azúcar moreno, azúcar estándar A y B, con o sin vitamina; los modernos azúcar refino, alcohol combustible y comestible y venta de energía eléctrica. Para producir todos estos productos es necesaria una gran cantidad de vapor, que a su vez para producirlo se requiere de grandes cantidades de combustible; hay variedad de combustibles que se usan en la actualidad, pero para efectos de este trabajo nos enfocaremos exclusivamente en el bagazo.

El presente trabajo se centra en la combustión de bagazo y al tratamiento que se da a los gases de escape producto de dicha combustión, para lo cual se realizaron los cálculos correspondientes para la modificación de los depuradores de gases existentes; para hacerlos más eficientes y así minimizar la emisión de partículas contaminantes. Adicional a ello se detallará como funciona una planta de tratamiento de aguas residuales de calderas.

OBJETIVOS

General

Proponer un estudio técnico de mejoramiento de un depurador de gases para minimizar la emisión de partículas contaminantes emitidas a través de la combustión de bagazo de caña, minimizando así los costos mantenimiento correctivo.

Específicos

1. Realizar un análisis de los equipos de lavado instalados actualmente para definir si son los más adecuados.
2. Definir el sistema adecuado de tratamientos de aguas residuales para dichos equipos.
3. Realizar un monitoreo antes y después de realizarse dichos cambios.
4. Llevar registros que muestren el porcentaje de lodos en cada etapa.
5. Evaluar los diferentes costos para demostrar la rentabilidad del proyecto.
6. Capacitar al personal que operará el nuevo sistema de lavado.

HIPÓTESIS

La modificación de los depuradores de gases ayudará a reducir considerablemente la emisión de partículas contaminantes por la quema de bagazo de caña.

La planta de tratamiento de aguas residuales de calderas en su caso será capaz de transformar todos los residuos de la combustión de bagazo de caña en abono orgánico para las plantaciones de caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

El vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso, en el agua líquida las moléculas de H₂O están siendo unidas y separadas constantemente; sin embargo, al calentar las moléculas de agua, las uniones que conectan a las moléculas comienzan a romperse más rápido de lo que pueden formarse; algunas moléculas se romperán libremente y estas moléculas libres forman el vapor.

Para producir vapor se emplean las calderas, que son equipos o sistemas capaces de transformar en energía térmica la energía contenida en un combustible mediante su combustión, transfiriendo esta energía al agua para producir vapor, el cual se utilizará como sustancia de trabajo en otros equipos o sistemas.

Fue en 1673 cuando el inventor y físico Denis Papín empezó a estudiar la posibilidad de aprovechar la energía producida por el vapor de agua a presión; en el año de 1680 Papín inventó la olla de papín, que es la predecesora de la actual olla de presión. En 1690 construyó la primera máquina de vapor equipada con un émbolo la cual se utilizó para bombear agua, las aplicaciones en aquel entonces fueron en la industria textil, siderúrgica, barcos de vapor y el ferrocarril.

En la actualidad el vapor es utilizado para la esterilización, como fluido motriz, para la atomización, limpieza, hidratación, humidificación y la producción de energía eléctrica.

Una de las tecnologías más utilizadas para obtener energía eléctrica son las termoeléctricas, el 60 % de la energía generada en el mundo es por este medio; cuyo combustible son los llamados combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y biomasa (madera, paja de caña, cascabillo de café y bagazo de caña).

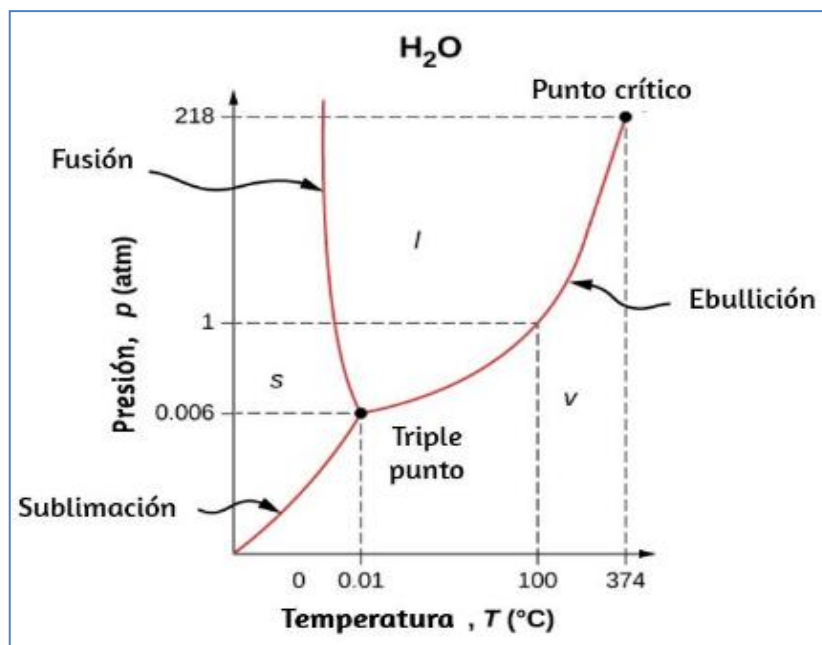
1. MARCO TEORÍCO

1.1. Vapor

El vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso, a nivel molecular esto es cuando las moléculas de agua logran liberarse de las uniones de hidrógeno.

En la figura 1 se muestra los distintos estados del agua a las distintas temperaturas y presiones a las que ocurren.

Figura 1. Cambios de estado del agua



Fuente: *Cambios de estado del agua*. <https://concepto.de/estados-del-agua/>. Consulta: 18 de junio de 2021.

1.2. Bagazo de caña

El bagazo de caña se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción, es un combustible natural para producir vapor en la industria azucarera.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que representa relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

1.2.1. Origen

El término bagazo proviene de la palabra francesa *bagasse* se empleaba antiguamente para denominar al residuo de la aceituna después que era molida y prensada para extraerle el aceite.

1.2.2. Composición

Cuando el bagazo sale del último molino posee aproximadamente la siguiente composición:

- Humedad: 51 %
- Sólidos solubles: 5 %
- Fibra: 44 %

Su composición química es la siguiente:

- Carbono: 47 %
- Hidrógeno: 6,5 %
- Oxígeno: 44 %
- Cenizas: 2,5 %
-

El bagazo es una materia prima óptima y renovable, se puede utilizar para la producción de tableros, papel, cartón, derivados de la celulosa, fabricación de muebles, aislante de sonido y como combustible para las calderas.

1.3. Combustión

La combustión es un proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de luz y calor, para que este proceso se dé, es necesario la presencia de un combustible, oxígeno y calor; entre los combustibles más comunes utilizados hoy en día se puede mencionar:

- Hidrocarburos
- Biomasa
- Carbones
- Gas natural
- Biocombustibles

El combustible debe alcanzar su punto de ignición para que pueda arder y así liberar grandes cantidades de energía, la cual es aprovechada por el ser humano para distintos fines.

1.4. Calderas

Es un equipo térmico que se utiliza para generar vapor a través de la transferencia de calor a una presión constante a un fluido, existen tres tipos de calderas según la disposición de los fluidos:

- Caldera de fundición seccional
- Caldera pirotubular
- Caldera acuotubular

1.4.1. Caldera de fundición seccional

Se compone de secciones huecas de fundición de hierro dentro de las cuales circula el agua.

1.4.2. Caldera pirotubular

Es una caldera en la que los gases calientes de la combustión pasan a través de los tubos de la caldera y el agua rodea estos tubos para absorber el calor y así producir vapor.

1.4.3. Caldera acuotubular

En las de este tipo el agua durante el calentamiento pasa dentro de la tubería, por la parte de afuera circulan los gases calientes producto de la combustión, permiten altas presiones a su salida y presentan una gran cantidad de generación de vapor; son el tipo de caldera más utilizada en las plantas termoeléctricas.

1.5. Equipos auxiliares de calderas

La clasificación de los equipos auxiliares de calderas se determina por el tipo y tamaño de la planta, el tipo de combustible utilizado y las disposiciones medioambientales de regulación de descarga al aire o suelo.

Los equipos auxiliares más comunes que se pueden encontrar en una agroindustria son:

- Bombas
- Ventiladores
- Chimeneas
- Equipos suavizadores de agua
- Válvulas

1.5.1. Bombas

Son equipos que se utilizan para succionar o extraer un fluido para posteriormente enviarlo o impulsarlo hasta el lugar deseado.

1.5.1.1. Bombas centrifugas

Se utilizan para desplazar líquidos a través de un sistema de tuberías, accionadas principalmente por motores eléctricos y de combustión interna. Estas bombas crean un fluido utilizando la energía cinética de un impulsor para generar el movimiento del fluido.

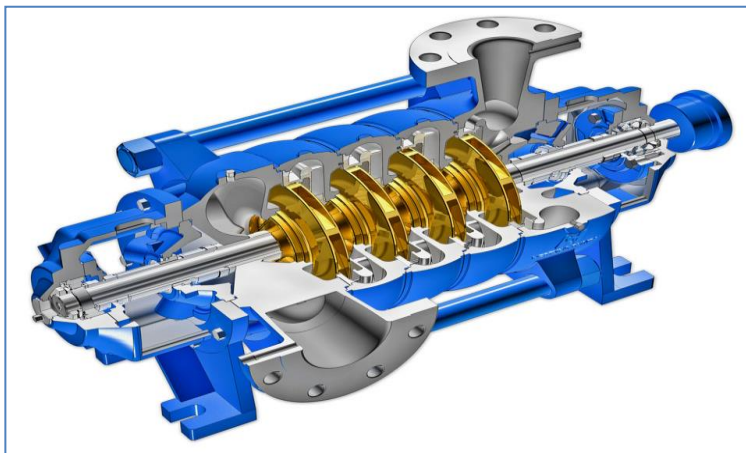
1.5.1.2. Bombas de diafragma

En estas bombas el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un diafragma, entre otros. y la carcasa; son las más utilizadas para dosificación de químicos de las calderas.

1.5.1.3. Bombas multietapas

Esenciales para mantener las calderas a alto rendimiento, son unidades multifase de gran tamaño que operan a presiones y temperaturas extremas; contienen una serie de impulsores, de tal manera que el primero succiona el agua, eleva la presión y se la pasa al segundo impulsor, este al tercero y así sucesivamente hasta pasar por el último.

Figura 2. Bomba de 4 etapas



Fuente: *Solution Pump. Bomba de 4 etapas.*

https://www.solutionpump.com/images/viking_gear.png. Consulta: 18 de junio de 2021.

1.5.2. Ventiladores

Se utilizan para suministrar aire, secado de carbón y extracción de gases de combustión; los diseños varían dependiendo del tipo de caldera:

- Ventilador tiro inducido
- Ventilador tiro forzado
- Ventilador tiro forzado secundario
- Ventilador sobre fuego
- Ventilador neumático

1.5.2.1. Ventilador tiro inducido

Impulsa los gases producto de la combustión de una caldera y los dirige a la chimenea para su descarga a la atmósfera, funciona con una presión en el hogar menor a la presión atmosférica, la presión va disminuyendo desde la entrada pasando por el hogar y conductos de salida de gases hasta el ventilador.

1.5.2.2. Ventilador tiro forzado

Toma aire del ambiente, el cual pasa a través de conductos y pre-calentadores de aire y se introduce directamente al hogar por la parte inferior; añadiendo así el complemento necesario para la combustión.

1.5.2.3. Ventilador tiro forzado secundario

Está diseñado para aumentar la eficiencia térmica de una caldera ya que introduce aire previamente calentado al hogar, este, toma el aire de la cámara

de aire caliente del forzado primario después que ha pasado por los ductos y pre-calentadores de aire y lo introduce al hogar por los costados, logrando así una mejor combustión al lograr que se queme mayor cantidad de combustible en el hogar.

1.5.2.4. Ventilador sobre fuego

Es utilizado para esparcir el bagazo que ingresa al hogar de la caldera a través de los alimentadores de bagazo, al igual que el forzado secundario introduce aire caliente tomado de la cámara de aire del forzado primario, con ello se logra que se queme la mayor cantidad de bagazo en el hogar.

1.5.2.5. Ventilador neumático

Se utiliza para inyectar aire frío para esparcir el bagazo que ingresa al hogar de la caldera a través de los alimentadores de bagazo, a diferencia del forzado primario, este ingresa por la parte frontal directamente sin pasar por ningún ducto o pre-calentador de aire.

1.5.3. Chimenea

Es el nombre que se le designa al equipo utilizado para expulsar los gases y sub-productos resultantes de la combustión a la atmósfera, de los combustibles empleados en la caldera.

1.5.4. Equipos suavizadores de agua

La suavización o ablandamiento de agua es la eliminación de Ca^{2+} y Mg^{2+} del agua dura, evitando así incrustaciones en equipos y tuberías de las

calderas, la suavización de agua se logra generalmente usando resinas de intercambio iónico.

El intercambio iónico se realiza mediante un polímero en forma de esferas de gel sintéticas diminutas que son capaces de intercambiar iones particularmente con otros iones, esta resina contiene cationes de Na^+ y los intercambia por Ca^{2+} y Mg^{2+} que son más fuertes que el Na^+ .

1.5.5. Válvulas

Una válvula es un dispositivo mecánico, el cual se utiliza para abrir, impedir o regular el paso de un fluido o gas. Entre las válvulas más utilizadas en un ingenio azucarero, específicamente en la producción de vapor; se pueden mencionar:

- Válvula de bola o paso rápido
- Válvula de mariposa
- Válvula de compuerta
- Válvula de globo
- Válvula de globo tipo Y
- Válvula tipo cheque o antiretorno

1.5.5.1. Válvula de bola o paso rápido

Es un tipo de válvula muy versátil en el manejo de fluidos, debido a su operación sencilla, cierre rápido, poco mantenimiento y tamaño compacto. La desventaja que presenta es que no soporta altas temperaturas debido a que se desgastan los sellos y empaques.

1.5.5.2. Válvula de mariposa

Es de apertura rápida, poco mantenimiento, fácil de instalar, ideal para diámetros grandes; la desventaja que presenta es que no se pueden utilizar para presiones arriba de los 125 PSI y presentan alta torsión.

1.5.5.3. Válvula de compuerta

Se utilizan principalmente para dejar pasar o no un fluido, para ello hay que tomar en cuenta el tipo de fluido, temperatura y presión a la cual trabajarán; así como también que son muy pesadas, su cierre es lento y es necesario un mantenimiento más rutinario.

1.5.5.4. Válvula de globo

Estas permiten la regulación de fluidos, se obtiene mejor sello, pueden trabajar a altas temperaturas y presiones; se debe tomar en cuenta que es una válvula muy costosa, es menos común y sufren pérdidas significativas de presión.

1.5.5.5. Válvula de globo tipo Y

Están diseñadas para las aplicaciones más severas, tales como vapor y agua a altas temperaturas y presiones, ya que poseen un mejor sello hermético y presentan una baja caída de presión; la desventaja que presenta es que es mucho más costosa que una válvula de globo normal.

1.5.5.6. Válvula tipo cheque o anti-retorno

Tienen por objetivo impedir por completo el retorno de un fluido, se utilizan principalmente en la descarga de una bomba para evitar que el retorno del fluido la dañe.

1.6. Turbinas de vapor

Es una máquina térmica, giratoria, que transforma la energía cinética del vapor en energía de rotación; esto ocurre cuando el vapor ingresa a la turbina y hace girar los álabes unidos a un eje rotor.

Las turbinas de vapor tienen muchas aplicaciones gracias a su versatilidad, en la actualidad son utilizadas para esterilización, impulso motriz, limpieza, hidratación, humidificación y generación de energía eléctrica.

1.7. Deareador

El agua tiene la propiedad de solubilizar aire al igual que lo hace con las sales minerales, de los gases que contiene, el oxígeno disuelto resulta ser altamente corrosivo para el acero; por lo que tiene que ser controlado.

Para controlar el nivel de oxígeno disuelto en aguas de alimentación de calderas, a fin de evitar corrosión en los tubos de la caldera, líneas de vapor y condensados; la instalación de un deareador ayuda a minimizar este impacto y a emplear menos cantidad de secuestrantes químicos.

Figura 3. **Deareador**



Fuente: *Power Master, Deareador.*

<https://powermaster.com.mx/www/informacion/deareadores.html>. Consulta: 25 de junio de 2021.

1.8. Plantas termoeléctricas

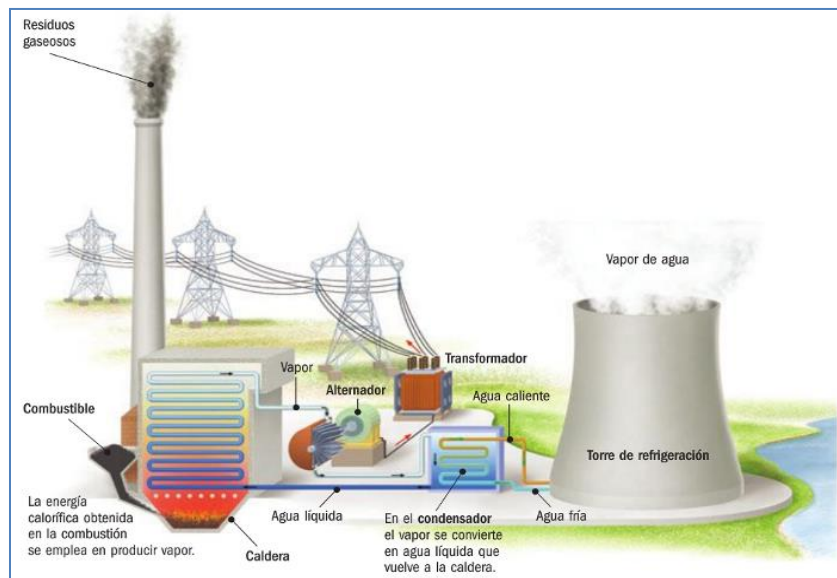
Durante muchos años se han empleado combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica, en la actualidad hay varios tipos de plantas termoeléctricas:

- Plantas termoeléctricas convencionales
- Plantas termoeléctricas de ciclo combinado

1.8.1. Plantas termoeléctricas convencionales

Es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor mediante la combustión de hidrocarburos, biomasa, carbones, gas natural y biocombustibles por medio de una caldera.

Figura 4. Termoeléctrica convencional



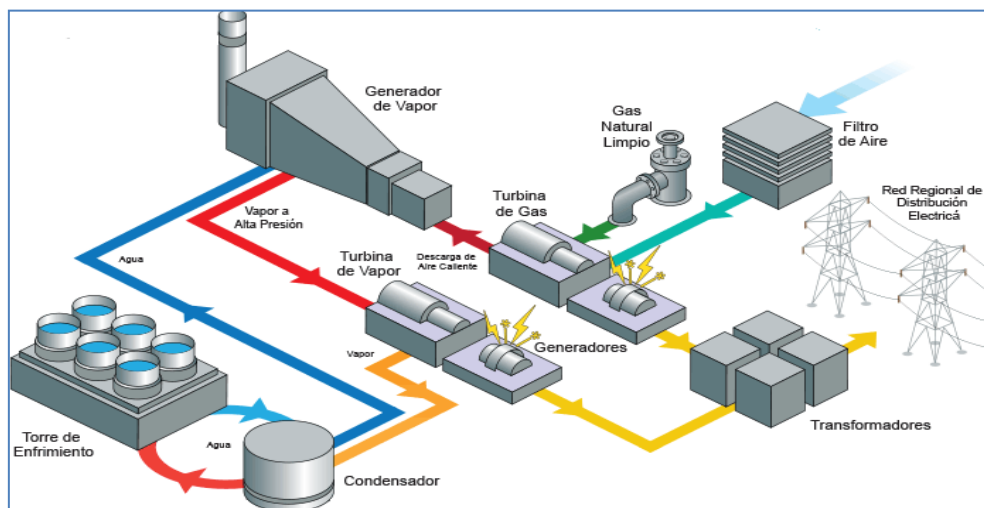
Fuente: Foro nuclear, *Termoeléctrica convencional*. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-una-central-termoelectrica/>. Consulta: 25 de junio de 2021.

1.8.2. Plantas termoeléctricas de ciclo combinado

Estas corresponden a las que tienen dos tipos diferentes de turbinas, a gas y de vapor; la idea de combinar estos dos tipos de tecnologías es la de aprovechar al máximo la temperatura de los gases de escape producto de la

combustión del gas y así calentar el agua de la caldera aumentando así su eficiencia.

Figura 5. **Planta termoeléctrica de ciclo combinado**



Fuente: Endesa, *Planta termoeléctrica de ciclo combinado*.

<https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-electricas-convencionales/a201908-central-termica-convencional-ciclo-combinado>. Consulta: 25 de junio de 2021.

1.9. Impacto ambiental

La incidencia de este tipo de plantas termoeléctricas sobre el medio ambiente se produce por la emisión de residuos procedentes por la combustión de algún combustible a la atmósfera y por vía térmica debido al calentamiento de las aguas de los ríos por la utilización de estas aguas para el enfriamiento de sus equipos.

Está comprobada la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y el SO_2 con la aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias.

La presencia en el aire de elevadas concentraciones de CO representa una seria amenaza para la salud, debido a que el CO se combina con la hemoglobina de la sangre, reduciendo así su capacidad para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

Las partículas sólidas dispersas en la atmósfera como el hollín y las cenizas, tienen la particularidad de penetrar el aparato respiratorio provocando irritación en las vías respiratorias, la acumulación en los pulmones agrava el asma y las enfermedades cardiovasculares.

El incremento de la concentración del CO_2 en la atmósfera puede alterar la temperatura de la tierra debido a que es transparente a la radiación solar recibida del sol, dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra; quedando atrapada en la atmósfera en forma de calor, fenómeno que ya todos conocemos como efecto de invernadero.

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. Distribución de calderas dentro del ingenio

El ingenio cuenta actualmente con 9 calderas tipo acuotubular, dividiéndose en dos líneas, distribuidas de la siguiente manera:

- Calderas línea de 250 PSI
- Calderas línea de 600 PSI

Dichas presiones corresponden a las medidas tomadas directamente por los manómetros instalados en cada una de las calderas.

2.1.1. Calderas línea de 250 PSI

Estas calderas son utilizadas para producir vapor a 250 PSI, para alimentar las turbinas de la preparación de caña que es donde se pica y desfibra la caña, las turbinas de molinos que es donde se extrae el jugo a la caña y las turbinas de los ventiladores de tiro inducido que son los encargados de extraer los gases de escape de las calderas.

2.1.2. Calderas línea de 600 PSI

Estas calderas son utilizadas para producir vapor a 600 PSI, dicho vapor es utilizado para alimentar un turbogenerador de 23 mw, la energía que se produce en época de zafra con este turbogenerador 8 mw son utilizados para el

proceso de fabricación de azúcar y los restantes 15 mw son vendidos a precio spot al mercado nacional.

2.2. Operación de las calderas

Las calderas están en funcionamiento solo para la época de zafra, la cual comprende los meses de noviembre a mayo; operando aproximadamente 170 días.

Para su operación es necesaria la participación de una gran cantidad de personas, para el manejo de los equipos necesarios para su funcionamiento:

- Supervisor
- Operador de sala de calderas
- Operador de caldera
- Auxiliar de caldera
- Operador de conductores de bagazo
- Analista de agua de calderas
- Ceniceros

2.2.1. Supervisor

Esta persona es la encargada de dirigir y coordinar las operaciones de las calderas, conductores de bagazo y auxiliares de calderas; así como su mantenimiento preventivo y correctivo.

Verificar la ejecución de los parámetros del tratamiento de agua de calderas recomendadas por el analista de turno, coordinar juntamente con los otros supervisores de turno de las otras áreas los paros y arranques de

molienda. Apoyar al operador de la sala de calderas en la operación y manejo del personal operativo.

Reporta al asistente de jefatura de generación de vapor o jefe del departamento de generación de vapor, todo lo sucedido durante su turno.

2.2.2. Operador de sala de calderas

Esta persona es la encargada de dirigir y coordinar la operación de las calderas, garantizando así el suministro de vapor para las diferentes turbinas.

Dirige el programa de limpieza de las calderas, la ejecución del régimen de purgas de agua de calderas recomendadas por el analista, apoya al supervisor de turno en los paros y arranques de molienda, dirige y coordina el manejo de personal operativo y el tensado de conductores de bagazo.

Reporta al supervisor de turno, asistente de jefatura de generación de vapor o jefe del departamento de generación de vapor todo lo sucedido durante su turno.

2.2.3. Operador de caldera

Esta persona es la encargada de operar adecuadamente la caldera asignada según parámetros establecidos, velar por el buen funcionamiento de los equipos auxiliares de dicha caldera.

Ejecuta la limpieza diaria de la parrilla tipo pin *hole* y el sopleteo diario de la tubería de la caldera a través de los sopladores de hollín.

Reporta al supervisor de turno u operador sala de calderas todo lo sucedido durante su turno.

2.2.4. Auxiliar de caldera

Esta persona es la encargada de apoyar la operación de la caldera que le fue asignada, según parámetros establecidos, así como velar por el buen funcionamiento de los equipos auxiliares de dicha caldera.

Apoya al operador de la caldera en la limpieza diaria de la parrilla tipo pin *hole* y el sopleteo diario de la tubería de la caldera a través de los sopladores de hollín.

Esta persona reporta al operador de la caldera u operador sala de calderas todo lo sucedido durante su turno.

2.2.5. Operador conductores de bagazo

Esta persona es la encargada de garantizar el suministro de bagazo para todas las calderas que estén en operación, controlando la carga de todos los conductores de bagazo para evitar disparos por atoramiento.

Tiene a su cargo directo la operación del conductor de retorno, el cual suministra el bagazo a las calderas cuando hay un paro de molienda.

Esta persona reporta directamente al operador sala de calderas o supervisor de turno todo lo sucedido durante su turno.

2.2.6. Analista de agua de calderas

Esta persona es la encargada de garantizar la calidad del agua que se suministra a las calderas, tomando como referencia la tabla de parámetros para control de agua de calderas.

Tiene a su cargo establecer el régimen de purgas de las calderas, así como la dosificación de químicos de cada una de ellas.

Es la persona asignada para reportar al operador de sala de calderas, supervisor de turno, asistente de jefatura de generación de vapor o jefe del departamento de generación de vapor, todo lo sucedido durante su turno.

Tabla I. **Tabla de parámetros para control de agua de calderas**

PARÁMETRO DE OPERACIÓN ZAFRA	CALDERAS 250PSI		CALDERAS 600PSI	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
PH agua de calderas	10,5	11,3	10,4	10,8
Sulfitos (ppm)	20	40	15	30
Fosfatos (ppm)	15	25	10	20
Turbidez (FTU)		<100		<100
Sílice (ppm)		150		40
Conductividad (µmhos)		1 500		1 200
PH vapor	8,5	9,5	8,5	9,5
Conductividad (µmhos)		50		50
PH tanque reserva de agua de condensados	8,5	10	8,5	10

Fuente: ZAGUAN, *Tabla de parámetros para control de agua de calderas*.

<https://zaguan.unizar.es/record/5353/files/TAZ-PFC-2010-344.pdf>. Consulta: 25 de junio de 2021.

2.2.7. Cenicero

Tiene a su cargo la recolección y traslado hacia el lugar de acopio de toda la ceniza proveniente de la limpieza de la parrilla pin *hole*, los recolectores de ceniza de domos y de la salida de los precalentadores de aire.

Reporta al operador de sala de calderas, supervisor de turno, asistente de jefatura de generación de vapor o jefe del departamento de generación de vapor, todo lo sucedido durante su turno.

2.3. Cenizas producto de la combustión de bagazo

Aproximadamente el 27,5 % de la caña que se muele en un ingenio azucarero corresponde a bagazo, datos promedio proporcionados por Cengicaña, esto quiere decir que si se muele a razón de 750 t/h hacen un total 18 000 toneladas en 24 horas; lo que correspondería a 4 950 toneladas de bagazo.

Este bagazo al momento de quemarse en las calderas genera grandes cantidades de ceniza, las cuales tienen que ser tratadas con cuidado para minimizar los daños que estas generan.

2.4. Manejo de cenizas

Dentro del ingenio existen dos formas para manejar la ceniza:

- Manejo por medio de recolectores de ceniza
- Manejo por medio de ceniceros

2.4.1. Manejo por medio de recolectores de ceniza

Las calderas de 600 PSI tienen instalados recolectores de cenizas frente al hogar que es donde se recolecta toda la ceniza producto de la limpieza de parrilla del pin *hole*, en la parte de abajo del domo inferior y en la salida de gases del pre-calentador de aire.

Estos recolectores de ceniza transportan la ceniza hacia una fosa principal por medio de agua, esta fosa se comunica a un canal el cual traslada dicha agua al campo para ser aprovechada para riego de los cañales.

Figura 6. Canal para transporte de ceniza



Fuente: elaboración propia, Ingenio Azucarero, Canal para transporte de ceniza.

2.4.2. Manejo por medio de ceniceros

Las calderas de 250 PSI no poseen recolectores de ceniza, por lo que es necesario que la ceniza sea trasladada por medio de personas; utilizando para ello palas cuadradas y carretas de mano.

Al no poseer parrilla pin *hole*, es necesario que durante la limpieza de las mismas; los ceniceros tengan que extraer la ceniza de los hornos por medio de palas cuadradas, cargar dicha ceniza a las carretas y posteriormente trasladarla hacia un centro de acopio.

Ya en el centro de acopio, se utiliza un cargador frontal para cargar la ceniza a camiones de volteo, estos camiones descargan la ceniza al canal que transporta el agua para riego de cañales.

Figura 7. Centro de acopio de cenizas



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero, Centro de acopio de cenizas.

2.5. Impacto en equipos

La caña que proviene del campo contiene arena, rocas y algunos metales, todo esto pasa a la recepción de caña que es donde se extrae la mayor cantidad de arena en las mesas de lavado en seco, luego pasa a la preparación de caña que es donde se pica y desfibra la caña, posterior a ello ingresa a la extracción del jugo en los molinos. Toda la arena que no pudo ser atrapada en las etapas mencionadas, es transportada junto con el bagazo de caña hacia las calderas para ser utilizado como combustible.

El bagazo de caña es quemado dentro de las calderas para la producción de vapor, después de su incineración se desprenden grandes cantidades de ceniza, las cuales son extraídas junto a toda la arena que no se puede quemar por medio de los ventiladores de tiro inducido.

Estas cenizas actúan como medio abrasivo, atacando toda la tubería y ductos de la caldera, hasta llegar al ventilador tiro inducido y ser expulsada por medio de la chimenea.

2.6. Mantenimiento de tubería de calderas

La tubería que está expuesta al ataque abrasivo de la ceniza es:

- Tubería de sobrecalentador
- Tubería de banco de convección
- Tubería de precalentador de aire
- Tubería de economizador de agua

2.6.1. Tubería de sobrecalentador

El sobrecalentador de una caldera consta de varios elementos donde el vapor saturado cambia a vapor sobrecalentado, estos son la conexión del domo superior al cabezal de salida de vapor de la caldera, son los primeros en recibir el impacto de los gases de escape.

Los sobrecalentadores de las calderas del ingenio están fabricados con tubos de acero bajo la Norma ASTM A 213/ASME SA-213, Gr T11 de 2" de diámetro exterior por 0,165" de espesor, dicha tubería está capacitada para soportar altas temperaturas, resistencia a la tracción, resistencia a la deformación y resistencia a la abrasión (ver apéndice 1).

Figura 8. **Elemento de sobrecalentador**



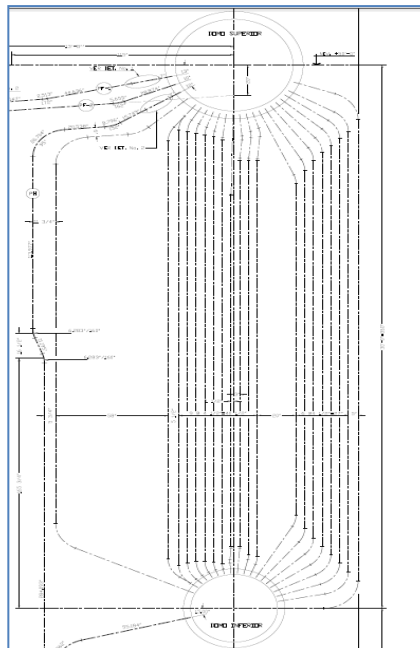
Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero, elemento de sobrecalentador.

2.6.2. Tubería de banco de convección

El banco de convección de una caldera lo conforma una serie de tubos que unen el domo superior con el domo inferior, esta tubería se encuentra justo después del sobre-calentador, por lo tanto, reciben el impacto de la ceniza justo después de estos.

Los bancos de convección de las calderas del ingenio están fabricados con tubos de acero bajo la Norma ASTM A 178/ASME SA-178, Gr A de 2" de diámetro exterior en algunas calderas y de 2 ½" de diámetro exterior en otras, con un espesor de 0,165", dicha tubería está capacitada para soportar altas temperaturas, resistencia a la tracción, resistencia a la deformación y resistencia a la abrasión (ver apéndice 2).

Figura 9. Banco de convección de una caldera acuotubular



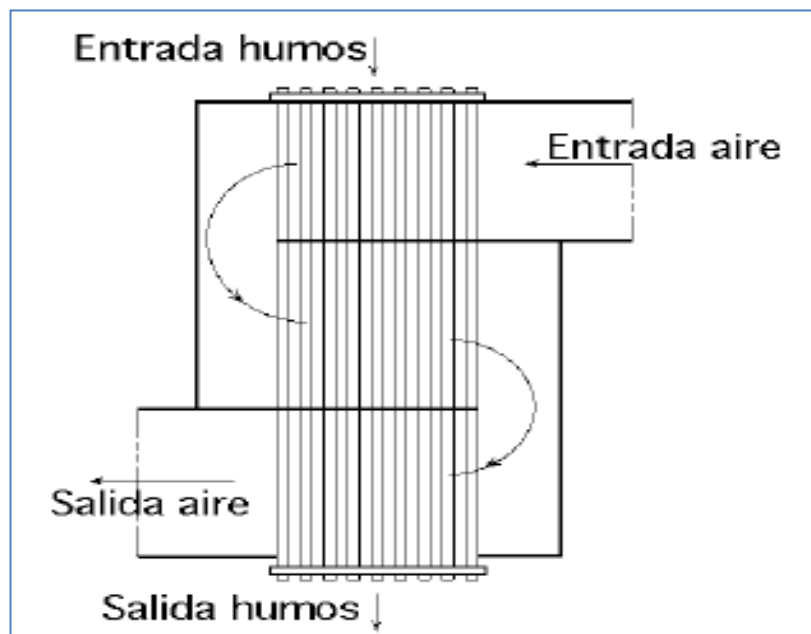
Fuente: Ingenio azucarero. Banco de convección de una caldera acuotubular.

2.6.3. Tubería de precalentador de aire

El precalentador de aire de una caldera consta de una serie de tubos que transportan en su parte interior los gases de escape que han pasado por el sobre-calentador y banco de convección, por la parte de afuera de los tubos ingresa aire ambiente suministrado por el ventilador tiro forzado.

Las tuberías de los pre-calentadores de aire de las calderas del ingenio están fabricadas con tubos de acero bajo la Norma ASTM A 513/ASME SA-513, Gr A de 2,1/2" de diámetro exterior por 0,0825" de espesor, dicha tubería está capacitada para soportar altas temperaturas, resistencia a la tracción, resistencia a la deformación y resistencia a la abrasión (ver apéndice 3).

Figura 10. **Precalentador de aire de una caldera acuotubular**



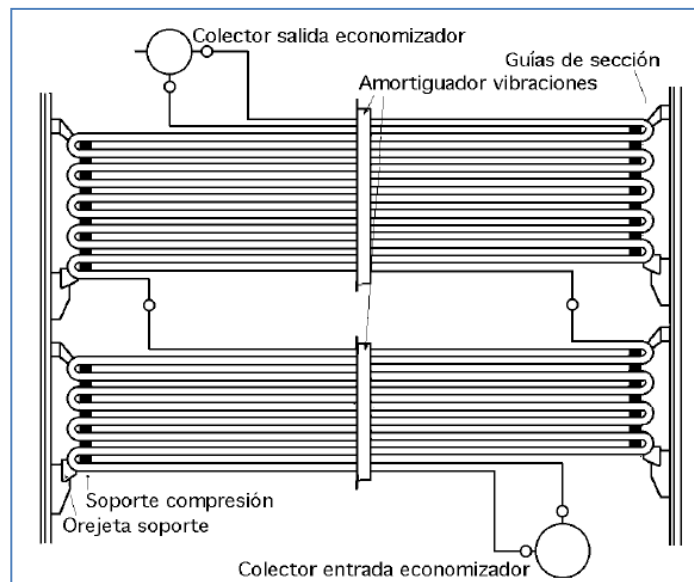
Fuente: Redsauce, *Economizadores y calentadores de aire*. <http://libros.redsauce.net/>. Consulta 25 de junio de 2021.

2.6.4. Tubería de economizador de agua

El economizador de una caldera lo conforma una serie de elementos que transportan en su interior el agua previa a ingresar al domo superior, el economizador se encuentra instalado en la parte de abajo del pre-calentador de aire; por lo tanto, reciben el impacto de la ceniza después de haber pasado por este.

Los economizadores de agua de las calderas del ingenio están fabricados con tubos de acero bajo la Norma ASTM A 178/ASME SA-178, Gr A de 2,1/2" de diámetro exterior, con un espesor de 0,165", dicha tubería está capacitada para soportar altas temperaturas, resistencia a la tracción, resistencia a la deformación y resistencia a la abrasión (ver apéndice 2).

Figura 11. **Elemento de economizador de agua de una caldera acuatubular**



Fuente: Redsauce, *Economizadores y calentadores de aire*. <http://libros.redsauce.net/>.

Consulta: 30 de junio de 2021.

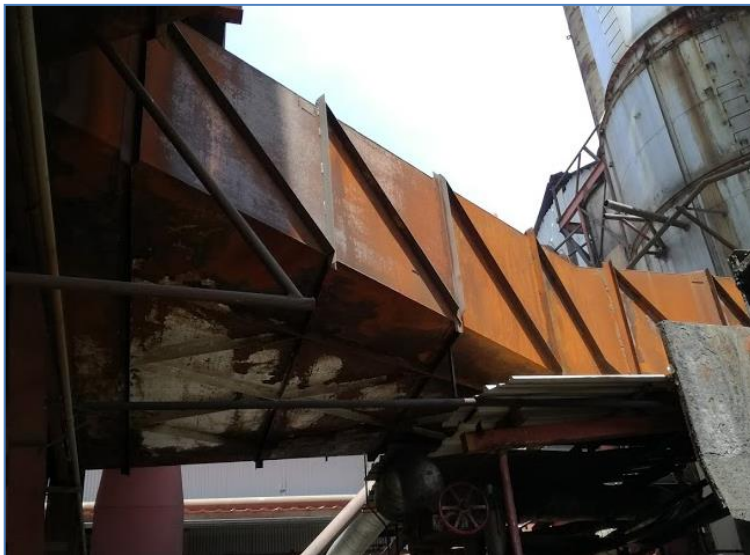
2.7. Mantenimiento de ductos

Los ductos que se dañan debido a la abrasión de la ceniza, son los que conectan la salida del pre-calentador de aire con el ventilador tiro inducido; debido a que están fabricados con lámina A36 (ver apéndice 4).

Esta es una lámina para uso común dentro del ingenio, este tipo de lámina tiende a ser reemplazada en un periodo de uno o dos años, lo que equivale a una o dos zafras.

En la actualidad hay una variedad de láminas anti-desgaste, epóxicas, aplicaciones de cementos refractarios, entre otros. Todos con un alto costo, lo que reduce su uso dentro del ingenio.

Figura 12. Ducto para transporte de ceniza



Fuente: elaboración propia, Ingenio Azucarero. Ducto para transporte de ceniza.

2.8. Mantenimiento de ventiladores tiro inducido

Los ventiladores que más sufren daño debido a la abrasión de la ceniza, son los de las calderas que no poseen un sistema de depuración de gases; esto debido a que toda la ceniza, arena y otros metales que contienen los gases impactan de forma directa sobre estos.

Los daños que sufren los ventiladores impactan considerablemente en la operación de dichas calderas, ya que se tiene programado 3 paros para mantenimiento correctivo durante la zafra; es decir cada dos meses.

Los ventiladores están fabricados con una lámina anti desgaste, que no es más que una base de lámina A-36 más una capa de recubrimiento duro (ver apéndice 5); es por eso que durante los paros programados se requiere primero la aplicación de electrodo E7018 (ver apéndice 6) para restaurar la parte desgastada y después la aplicación de electrodo duro (ver apéndice 7) para recuperar la parte anti desgaste del ventilador.

En la tabla VI se detalla el costo promedio de mantenimiento correctivo que se le hace a un ventilador cada fin de zafra.

Figura 13. **Daño de ventilador tiro inducido al finalizar la zafra.**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Daño de ventilador tiro inducido al finalizar la zafra.

2.9. Mantenimiento de carcasas de ventiladores tiro inducido

Al igual que los ventiladores tiro inducido, las carcasas que más sufren daño debido a la abrasión de la ceniza; son las de las calderas que no poseen un sistema de depuración de gases.

Las carcasas envuelven el ventilador tiro inducido, haciendo posible que el ventilador succione todos los gases de escape y los envíe hacia la chimenea para su expulsión a la atmósfera.

Las carcasas están fabricadas con lámina A-36, la cual es una lámina de uso común dentro de la industria azucarera; debido a eso al finalizar la zafra se requiere una reparación de casi el 70 % y en el peor de los casos, la fabricación de nuevas.

El mantenimiento que se le da a una carcasa, es prácticamente el cambio de las partes dañadas, para esto se utiliza lámina A-36, aplicación de soldadura y pintura.

Figura 14. **Carcasa de ventilador tiro inducido**



Fuente: Ingenio azucarero. Carcasa de ventilador tiro inducido.

2.10. Análisis

Debido al constante desgaste que sufren los equipos que están expuestos al impacto de la ceniza y arena, se ve claramente que los equipos instalados actualmente para la contención y protección de dichos equipos; no son los adecuados para este tipo de operación.

Esto se refleja claramente en el histórico del costo de mantenimiento correctivo que se les hace a los ventiladores tiro inducido al finalizar la zafra, dicho costo se puede observar en la tabla VI.

2.11. Cálculos

Para realizar los cálculos del diseño y montaje del depurador de gases se tomó como referencia los costos del mantenimiento correctivo, costo de fabricación, costo de mano de obra y costo de mantenimiento preventivo.

En la tabla VI se muestra el costo anual de mantenimiento correctivo promedio por ventilador de Q.138 626,45, cantidad que si la multiplicamos por todas las calderas que se tienen instaladas; representa un costo considerable de reparación.

Para la fabricación del depurador de gases se tomó en cuenta el costo de fabricación el cual se muestra en la tabla VII con un valor de Q.37 509,44 más el costo de mano de obra que se muestra en la tabla VIII de Q.5 400,00; sumando dichos valores nos da una cantidad de Q.42 909,44 que representa un 31 % del costo de mantenimiento correctivo.

El costo de mantenimiento preventivo anual por ventilador se muestra en la tabla XI con un valor de Q. 10 014,46 el cual representa un 7,22 % del costo de mantenimiento correctivo.

2.12. Diseño

Debido al problema de contaminación del aire y al desgaste que le causa la abrasión de la ceniza a los ventiladores tiro inducido y a las carcasas de los mismos, producto de la combustión de bagazo, se ve la necesidad de la modificación e instalación de un depurador de gases; el cual se instalará en una etapa previa antes de que los gases impacten con dichos equipos.

Al finalizar la zafra, durante el tiempo de reparación es cuando se examina el estado de los equipos, se pudo observar que una caldera de 600 PSI es la que refleja el mayor daño, la cual afecta considerablemente la operación durante la zafra debido a los paros por reparaciones; detectado este problema se tomó esta caldera como muestra para realizar la modificación e instalación del depurador de gases.

Para el diseño del depurador de gases se tiene un área disponible de 17 pies 11 pulgadas de altura, 8 pies 4 pulgadas de ancho y 16 pies 8 pulgadas de largo, la cual pertenece a la sección donde se encuentra montados dos recolectores de ceniza, instalados en el ducto que conecta la salida del precalentador de aire hacia el ventilador tiro inducido; dicha área se muestra en el diagrama de la figura 15.

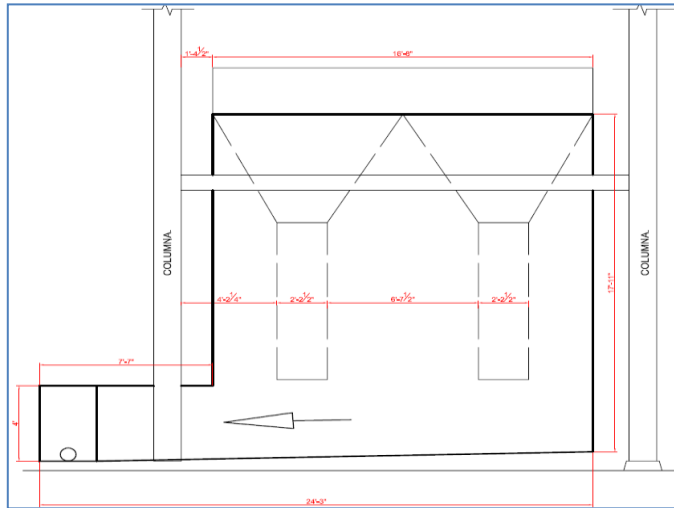
El tiempo que se empleó para el diseño del depurador fue de 10 días, el cual se muestra en la tabla II.

Tabla II. **Cronograma de actividades para diseño**

CRONOGRAMA PARA EL DISEÑO DEL DEPURADOR DE GASES				
Etapa	Actividad	Inicio	Fin	Tiempo
Inicio	Limpieza de área de trabajo	08/05/2017	08/05/2017	1 día
Medición	Toma de medidas	09/05/2017	10/05/2017	2 días
Dibujo	Creación de diagramas	11/05/2017	19/05/2017	7 días
Tiempo empleado				10 días

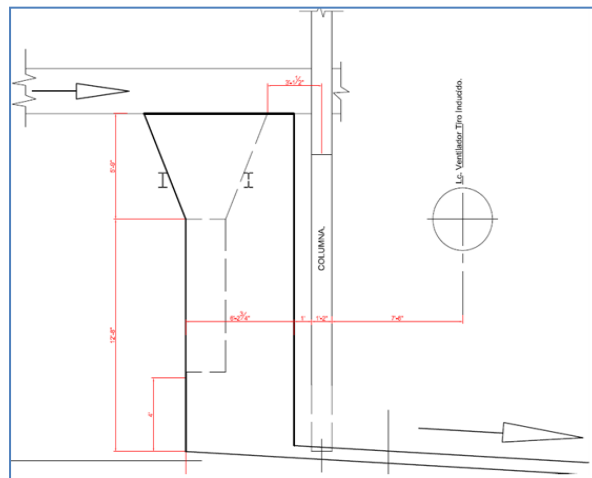
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 15. **Diagramas de recolectores de ceniza**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Figura 16. **Diagramas de recolectores de ceniza**

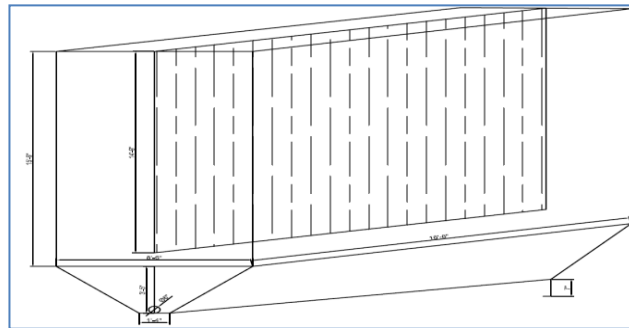


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Con base en el área disponible según diagramas de la figura 15, se propuso un diseño que consta de una parte rectangular y una tolva, en su

interior una cortina metálica y cinco boquillas aspersoras; el diseño se muestra en las figuras 16 y 18.

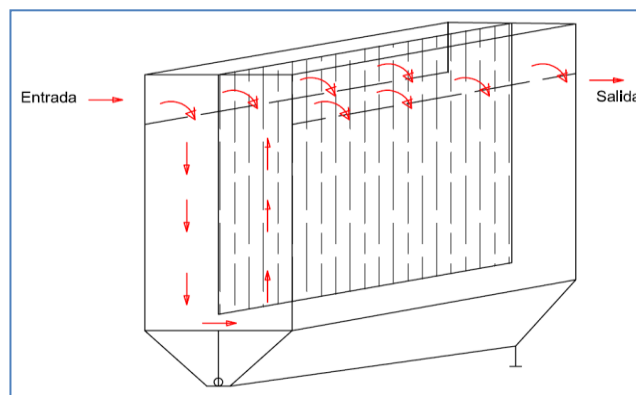
Figura 17. **Diagrama de depurador de ceniza**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

La función de la cortina metálica es hacer que los gases de escape bajen y luego vuelvan a subir hasta salir del depurador de gases, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Diagrama de movimiento de gases de escape**

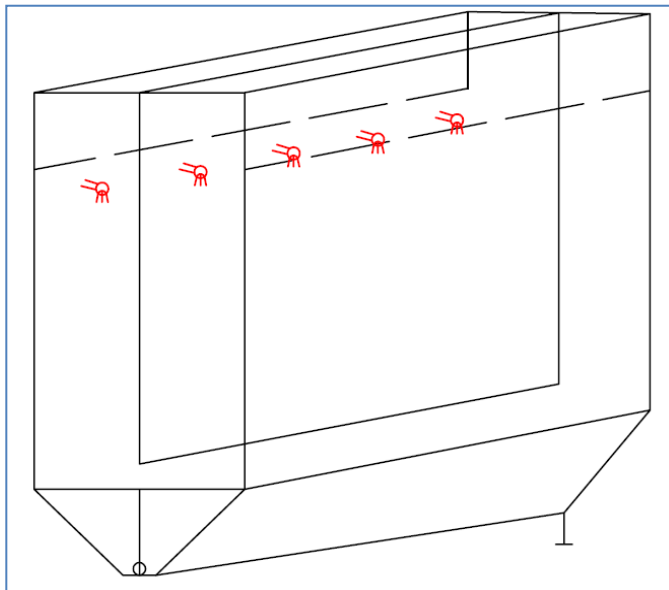


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

En la trayectoria de descenso de los gases de escape, es donde se le inyecta agua por medio de las boquillas de aspersión; es en esta etapa donde se logra atrapar la mayor cantidad de partículas contaminantes y así evitar que choquen directamente con el ventilador tiro inducido y salgan por la chimenea a la atmósfera.

En la figura 18 se muestran la instalación de las boquillas para aspersión de ceniza y en la figura 19 el tipo de boquilla utilizada para la aplicación por aspersión de agua.

Figura 19. **Diagrama de instalación de boquillas de aspersión**



Fuente: Ingenio azucarero. Diagrama de instalación de boquillas de aspersión.

Figura 20. **Boquilla aspersora esférica tipo bete**



Fuente: Direct Industry. *Boquilla aspersora esférica tipo bete*. www.directindustry.es.

Consulta: 30 de junio de 2021.

2.13. Montaje

La fabricación y montaje del depurador de gases se realizó en 4 etapas detalladas a continuación:

2.13.1. Trazo

Lo que se hizo en esta etapa fue trazar todas las láminas, para la fabricación de la cortina metálica interior, el ducto rectangular, la tolva recolectora de ceniza y todo el sistema de conexión de agua hacia los espráis; el tiempo empleado durante esta etapa de fue de 2 días.

2.13.2. Corte

Una vez trazado todos los componentes del depurador de gases, se prosiguió a realizar el corte de cada uno de los componentes, empleando para esta etapa 4 días.

2.13.3. Montaje

Posterior al trazo y corte, se prosiguió a armar cada uno de los componentes del depurador de gases, uniéndolos únicamente con la soldadura necesaria para soportar el montaje; el tiempo utilizado para esta actividad fue de 12 días.

2.13.4. Soldadura

Ya que todas las partes fueron trazadas, cortadas, armadas y montadas, se prosiguió a aplicarles la soldadura que hacía falta para garantizar su funcionamiento; el tiempo empleado durante esta etapa fue de 5 días.

El tiempo total empleado para el montaje del depurador de gases fue de 24 días, en la tabla III se muestra el cronograma de actividades.

En la figura 20 se muestran fotografías del montaje terminado del depurador de gases.

Tabla III. **Cronograma de actividades para fabricación**

CRONOGRAMA PARA LA FABRICACIÓN DE DEPURADOR DE GASES				
Etapa	Actividad	Inicio	Fin	Tiempo
Inicio	Limpieza de área de trabajo	16/06/2017	16/06/2017	1 día
Trazo	Instalación de máquina de soldar	19/06/2017	19/06/2017	2 horas
	Retiro de materiales de bodega	19/06/2017	19/06/2017	30 minutos
	Retiro de insumos de bodega	19/06/2017	19/06/2017	30 minutos.
	Trazos en lámina	19/06/2017	19/06/2017	1 día 4 horas
	Traslado de material para corte	20/06/2017	20/06/2017	1 hora
Corte	Limpieza de área de trabajo	21/06/2017	21/06/2017	1 día
	Corte de piezas de tolva	22/06/2017	22/06/2017	1 día
	Corte de piezas de ducto superior	23/06/2017	23/06/2017	1 día
	Corte de piezas de cortina interior	26/06/2017	26/06/2017	4 horas
	Corte de piezas para aspersión	26/06/2017	26/06/2017	2 horas
	Corte de piezas de descarga de lodos	26/06/2017	26/06/2017	2 horas
Montaje	Montaje de cortina interior	27/06/2017	27/06/2017	1 día
	Montaje de ducto superior	28/06/2017	30/06/2017	3 días
	Montaje de tolva	03/07/2017	07/07/2017	5 días
	Montaje de piezas de aspersión	10/07/2017	11/07/2017	2 días
	Montaje de tubería de descarga de lodos	12/07/2017	12/07/2017	1 día
Soldadura	Aplicación de electrodos	13/07/2017	19/07/2017	5 días
Tiempo empleado				24 días

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 21. **Fotografía del montaje del depurador de gases**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Montaje del depurador de gases.

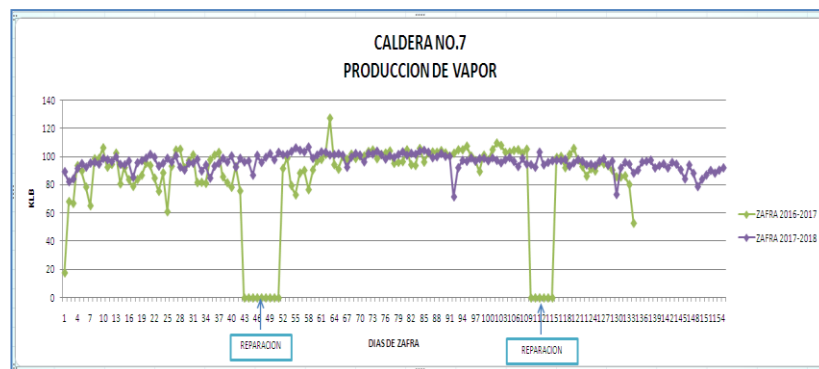
2.14. Comparativo de zafra antes y después de la instalación

En la gráfica que se muestra en la figura 20 se muestra la operación de una caldera en dos zafras distintas, las cuales representan la operación antes y después de ser instalado el depurador de gases.

Durante la zafra 2016-2017 fue necesario parar la caldera en dos ocasiones para poder reparar el ventilador tiro inducido, dichos paros fueron de 9 días el primero y 6 días el segundo paro. Esto debido al desbalance que presentó el ventilador debido al desgaste sufrido producto del impacto de ceniza y arena.

En la zafra 2017-2018 ya con el depurador puesto en marcha se ve que no hubo ningún paro, lo que dio una operación continua de la caldera; dando como resultado la buena operación del depurador de gases.

Figura 22. **Gráfica de operación de la caldera antes y después de la instalación**



Fuente: Ingenio azucarero. Gráfica de operación de la caldera antes y después de la instalación.

3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1. Gases de escape

Los gases de escape o combustión, representan la pérdida más grande de calor en una caldera; esta entre un 60 % a un 90 % de las pérdidas totales. Entre los principales productos de combustión tenemos:

3.1.1. Nitrógeno (N₂)

Es un componente químico del aire, este gas es incoloro, inodoro y sin sabor; alimenta la combustión como parte del aire de combustión, pero no interviene directamente en el proceso de combustión. Valores típicos en los gases de combustión del bagazo van del 50 %-70 %.

3.1.2. Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro con un ligero sabor agrio, se produce en todos los procesos de combustión como parte del aire de combustión, pero no interviene directamente en el proceso de combustión. Constituye considerablemente al efecto invernadero gracias a su capacidad de filtrar la radiación del calor, valores típicos en los gases de combustión del bagazo van del 8 %-14 %, datos proporcionados por Cengicaña.

3.1.3. Vapor de agua (H₂O)

El hidrógeno contenido en el combustible reaccionara con el oxígeno y formara agua, esta agua junto con la contenida en el bagazo y en el aire de combustión a elevadas temperaturas se convierte en vapor. Este vapor de agua sale por la chimenea transportando calor cuyos valores típicos van de 25 %-30 %, datos proporcionados por Cengicaña.

3.1.4. Oxígeno (O₂)

La parte de oxígeno que no se consume en el proceso de combustión permanece como parte de los gases de combustión y es una medida para el rendimiento de la combustión, valores típicos en los gases de combustión están entre 2 %-8 %, datos proporcionados por Cengicaña.

3.1.5. Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, inodoro y tóxico, en la mayoría de ocasiones se forma durante una combustión incompleta del carbono y otros materiales que contienen carbón; al aire libre no es muy peligroso para las personas ya que reacciona rápidamente con el oxígeno y pasa a ser CO₂. No obstante, en espacios cerrados es muy peligroso, ya que con concentraciones de 700 ppm en el aire que respiramos puede provocar la muerte en pocas horas; valores típicos para combustibles sólidos van desde 200 ppm – 4 000 ppm, datos proporcionados por Cengicaña.

3.1.6. Óxidos de nitrógenos (NO_x)

A altas temperaturas, el nitrógeno del combustible y también del aire de combustión reaccionan con el oxígeno y forma monóxido de nitrógeno (NO); este al enfriarse con el oxígeno acumulado o en la atmosfera forma el dióxido de nitrógeno (NO₂).

3.1.7. Dióxido de azufre (SO₂)

Es un gas tóxico, incoloro y con un olor muy fuerte, se forma a partir de la oxidación del azufre que está presente en el combustible; junto con agua o condensados forman el ácido sulfuroso (H₂SO₃) y el ácido sulfúrico (H₂SO₄); ambos son muy dañinos. En la combustión de bagazo la concentración de este gas es despreciable.

3.1.8. Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Es un gas tóxico, tiene un olor muy fuerte y característico, en la combustión de bagazo la concentración de este gas es despreciable.

3.1.9. Sólidos

Los sólidos en los gases de combustión, se originan a partir de componentes incombustibles de los combustibles sólidos o líquidos; estos incluyen hollín, polvo, óxidos de sílice, aluminio, calcio y fosfatos. Las partículas de polvo pueden estar recubiertas por sustancias tóxicas o cancerígenas, el hollín está compuesto exclusivamente por carbono puro que se produce por la combustión incompleta.

3.2. Recolectores de ceniza

Los recolectores de ceniza que se tienen instalados para tratamiento de los gases de escape no son más que unos recipientes rectangulares que acumulan la ceniza, la ceniza que se captura es en parte trasladada con personal hacia un centro de acopio y otra parte es transportada por canales de agua hacia una fosa principal.

Figura 23. **Recolectores de ceniza**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Recolectores de ceniza.

3.3. Aguas residuales

El agua producto de la limpieza de los gases de escape es utilizada por algunos ingenios que cuentan con cuencas propias de agua para fertiriego de la caña de azúcar, en el recorrido desde que sale del ingenio hasta que llega a las

plantaciones de caña de azúcar, se encuentran instalados desarenadores que se utilizan para extraer toda la ceniza y arena que contiene dicha agua; dejando así agua de buena calidad.

En el fertiriego se utilizan dos sistemas de riego presurizados, el caudal reducido y por goteo, mediante esta tecnología se ha podido aplicar los fertilizantes al cultivo de forma fraccionada en el tiempo y según la edad; con lo cual se ha logrado reducir entre 28 % y 38 % de la dosis total de fertilizantes sin afectar la producción del cultivo.

Con respecto a los ingenios que no cuentan con caudales propios de agua para hacer uso en el fertiriego han adoptado tecnologías para tratar y reutilizar toda el agua posible producto de la limpieza de gases de escape.

3.4. Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales en la industria busca manejar cuatro problemas: la sedimentación, la corrosión, la actividad microbiológica y la eliminación del agua residual.

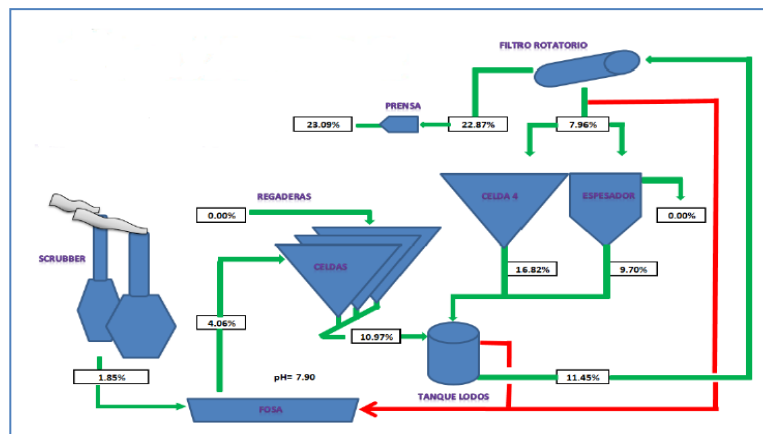
En el caso del agua residual de calderas no se tiene mucho problema con los microbios ya que las altas temperaturas impiden su crecimiento.

La eliminación de aguas residuales en la industria es un problema difícil y muy costoso, el ingenio cuenta con una planta que separa los lodos del agua; el agua se vuelve a reutilizar para atrapar las cenizas provenientes del depurador de gases y los recolectores de ceniza; los lodos resultantes son enviados a los campos como abono para las plantaciones de caña de azúcar.

El sistema de tratamiento de aguas residuales que posee actualmente el ingenio es uno de los más innovadores que se posee en la industria azucarera, porque posee tecnología de punta en cada una de sus etapas; adicional a ello es capaz de tratar toda el agua proveniente de las 9 calderas que posee.

Cada una de las etapas se muestra en la figura 23.

Figura 24. **Sistema de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: Ingenio azucarero. Sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.4.1. Fosa receptora de aguas residuales

Toda el agua proveniente de la limpieza de los gases de escape producto de la combustión de bagazo de las calderas, es envía a través de canales hacia una fosa principal, la cual posee un sistema de bombeo para enviar las aguas residuales hacia unas celdas de sedimentación.

Figura 25. **Fosa receptora de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Fosa receptora de aguas residuales.

3.4.2. Celdas de sedimentación

Para el tratamiento de las aguas residuales de calderas, se tienen disponibles 7 celdas construidas con lámina de hierro A-36 de $\frac{1}{4}$ " con capacidad de 10 300 galones cada una; la parte superior es de forma rectangular y la parte inferior de forma cónica.

Las aguas residuales provenientes de la fosa principal son bombeadas y distribuidas a través de las 7 celdas y todo el lodo fino proveniente de los filtros rotatorios es recibido en el concentrador.

En la operación a los lodos que ingresan a las celdas y al concentrador, se les aplica un polímero que sirve para atrapar toda la ceniza y precipitarla al fondo, saliendo por la parte superior agua limpia que es enviada para limpieza de gases de escape en el depurador de gases y para los recolectores de ceniza; los lodos decantados que salen en la parte inferior de las celdas y concentrador son enviados hacia unos filtros rotatorios.

Figura 26. **Celdas de sedimentación**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Celdas de sedimentación.

3.4.3. Filtros rotatorios para filtración de aguas residuales

Se tienen instalados dos filtros rotatorios contruidos en acero inoxidable con capacidad de 140 m³/h, con diámetro de 2 metros y un largo de 5 metros.

La función de ambos filtros no es más que filtrar los lodos provenientes de las celdas de sedimentación y del concentrador, durante esta filtración sale dos tipos de lodos; lodos finos y lodos espesos.

Los filtros rotatorios están instalados en la parte más alta del sistema, los lodos finos son enviados por medio de una tubería de forma gravitacional hacia el concentrador de lodos y la descarga de lodos espesos se hace hacia una tolva; la cual es la que alimenta los lodos a la prensa de lodos.

Figura 27. **Filtros rotativos**



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Filtros rotativos.

3.4.4. Concentrador de lodos

El concentrador de lodos está construido en lámina A-36 de $\frac{1}{4}$ " , la parte superior es de forma cilíndrica y la parte inferior cónica, lo que hace posible sedimentar los lodos finos provenientes de los filtros rotatorios de una manera más rápida; la capacidad del concentrador es de 6 409 galones.

El agua filtrada sale por la parte superior y por la parte inferior salen los lodos concentrados que son enviados juntamente con los lodos de las celdas hacia los filtros rotatorios.

3.4.5. Prensa de lodos

La prensa de lodos está construida en acero inoxidable, tiene una capacidad de 225 m³/h; consta de un sistema hidráulico que mueve una tolva compactadora que es la encargada de filtrar los lodos.

Esta es operada de una forma automatizada que consta de tres partes: llenado, pre-compactado y compactado final; estos ciclos se llevan a cabo con la ayuda de dos cilindros hidráulicos. El primero es el que realiza las tres etapas y el segundo retira una tapadera para la descarga de los lodos espesos con una humedad aproximada de 70 %.

En la figura 26 se muestra una fotografía de la prensa de lodos y en la figura 27 se muestra una ficha de control para llevar registros de la operación de la planta de tratamiento de aguas.

Figura 28. Prensa de lodos



Fuente: elaboración propia, Ingenio azucarero. Prensa de lodos.

Figura 29. **Formato de control de planta de tratamiento de aguas residuales**

INGENIO "NOMBRE"		DISTRIBUCION DE AGUA							Código: F-00	
LOGOTIPO INGENIO		SCRUBBERS Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE CENIZAS							Versión: 1	
									Página 1 de 1	
FECHA	SCRUBBERS	FOSA DE	CELDA DE	TANQUE DE	FILTROS DE	PRENSA DE	RETORNO A	CONCENTRADOR	CONCENTRADOR	RETORNO A
OPERACIÓN	C1-C9	LODOS	DECANTACION	LODOS	CENIZA	LODOS	CONCENTRADORES	NO.1	NO.2	FOSA DE LODOS

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.5. Capacitación de personal para operar el nuevo sistema de lavado

Debido a políticas internas del ingenio no se puede compartir los documentos utilizados para este tema, en su lugar se presentará lo más importante para operar dicha planta, esto se muestra en la figura 28, adicional en la figura 29 se muestra el cronograma en el cual fue impartida dicha capacitación.

Figura 30. **Arranque de planta de cenizas**

INGENIO "NOMBRE"		Código: IN-GEV-04 Versión: 2
LOGO	ARRANQUE DE LA PLANTA DE CENIZAS	Página 1 de 2

1. CONTENIDO:

A continuación se detallan las instrucciones que deben cumplir el Asistente, supervisores, operador de planta de cenizas y operador de filtros y prensa de lodos para arrancar la planta de cenizas.

Antes de cualquier inicio de operación y pruebas es obligatorio la utilización de los equipos de protección personal que se hacen necesarios (cascos, lentes, protectores auditivos, guantes, zapatos industriales, etc.)

Instructivo para arranque de la planta de cenizas:

1. Dos o tres horas antes del arranque de la planta hidrate 25 kg de floculante.
2. Verifique que todas las bombas de la planta estén acopladas y los motores conectados.
3. Verifique que las rotaciones de las bombas sea la correcta.
4. Verifique que la transmisión de potencia de los filtros rotativos estén acopladas, conectadas, que tenga aceite y que la cadena este lubricada.
5. Verifique que la unidad hidráulica de la prensa de lodos tenga aceite.
6. Verifique que hay presión de aire para mover la compuerta de la tolva de cenizas y las válvulas automáticas.

Continuación de la figura 30.

7. Cierre la compuerta principal de la fosa de lodos.
8. Arranque la bomba de agua de embalse de la planta de cenizas.
9. Verifique que no hay fuga de agua hacia fuera del sistema de la planta de cenizas.
10. Cuando el nivel de la fosa suba al 80% arranque la bomba de agua con cenizas.
11. Arranque las bombas de floculante.
12. Llene las 7 celdas.
13. Cuando el tanque de agua limpia llegue al 80% arranque la bomba de agua limpia.
14. Pare la bomba de agua de embalse de la planta de cenizas.
15. Arranque el sistema de control de las válvulas de fondo de las celdas.
16. Arranque los filtros rotativos.
17. Arranque la bomba de agua de limpieza de los filtros rotativos.

Continuación de la figura 30.

18. Verifique que tenga agua de enfriamiento la prensa de lodos.

19. Cuando el nivel del tanque de lodos llegue al 80% arranque una bomba de lodos.

20. Arranque la Prensa de Lodos.

2. HISTORIAL DE LOS CAMBIOS:

VERSION	FECHA DE MODIFICACIÓN (dd/mm/aa)	SECCION MODIFICADA	PUESTO DE QUIEN LO REALIZÓ	PUESTO DE QUIEN LO APROBÓ
2	19/08/2020	Revisión y actualización por de cambios y codificación.	Jefe de Sistemas de Gestión	Superintendente de Fábrica.

ELABORÓ:	FECHA:	FIRMA:
Jefe de Calderas	19/08/2020	
REVISÓ:	FECHA:	FIRMA:
Jefe de Sistemas de Gestión	19/08/2020	
APROBÓ:	FECHA:	FIRMA:
Superintendente de Fábrica	19/08/2020	

Fuente: elaboración propia, Arranque de planta de cenizas. Ingenio azucarero.

Figura 31. Cronograma de capacitación de planta de cenizas

PROGRAMACIÓN PROPUESTA PARA CAPACITACIONES														
Contacto en la empresa:														
Consultor de Servicios Empresariales que atiende:														
FECHAS														
No.	NOMBRE DEL CURSO	CANTIDAD DE HORAS	DIAS A DESARROLLAR EL CURSO	MES	L	M	MI	J	V	HORARIO	INSTRUCTOR	PARTICIPANTES	AREA	OBSERVACIÓN
1	OPERACIÓN DE PLANTA DE CENIZA	20 HORAS	LUNES, MARTES, MIERCOLES, JUEVES Y VIERNES	SEPTIEMBRE	4	5	6	7	8	8:00 A 12:00 (5 sesiones de 4 horas)	Ernesto Alonzo Muñoz Morales	40	Salón de sesiones	
2														
3														
4														

Fuente: elaboración propia, Cronograma de capacitación de planta de cenizas. Ingenio azucarero.

4. LA INDUSTRIA AZUCARERA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La industria azucarera de Guatemala está comprometida con la sostenibilidad ambiental, es por ello que, en 2014, la Asociación de Azucareros de Guatemala creó una política de gestión ambiental; permitiendo la estandarización de prácticas en el manejo y uso de agua, calidad del aire, uso y aplicación de agroquímicos, manejo de residuos sólidos y la conservación de la biodiversidad.

4.1. Manejo y uso del agua

El agua es un recurso esencial para la vida humana, así como para los procesos agrícolas e industriales, ante el impacto del cambio climático y de fenómenos naturales como el niño, que provoca sequías; la agroindustria azucarera ha implementado prácticas para reducir el consumo de agua y hacer un uso racional del recurso.

La reutilización del agua en algunas fábricas ha permitido una reducción hasta de un 99 % en el consumo, datos promedio proporcionados por Cengicaña, el agua utilizada en el proceso industrial es enviada a sistemas de enfriamiento, conformados por torres o piletas en las cuales se reduce la temperatura para ser reutilizada en el proceso.

En cuanto a las aguas residuales industriales producto del proceso de fabricación de azúcar, estas pasan por un proceso de tratamiento y salen cargadas de nutrientes y se destinan a sistemas de fertiriego.

Desde el año 2017 los ingenios azucareros se encuentran trabajando en las Normas y recomendaciones para el uso de agua en fábrica y manejo de aguas residuales, bajo la coordinación de Cengicaña, todo esto cumpliendo con los requerimientos del MARN y el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de disposición de lodos según acuerdo gubernativo 236-2006.

4.2. Calidad del aire

Actualmente en los ingenios se realizan mediciones de gases para monitorear la combustión en las calderas y el desempeño que realizan los depuradores de gases, las mediciones que se realizan son: fuentes fijas y calidad del aire ambiental.

4.2.1. Fuentes fijas

Con estas mediciones se busca comparar los niveles de emisión reales con los niveles permisibles adecuados mediante la operación de las calderas, ya que esta medición se realiza específicamente en las chimeneas de las calderas.

A continuación, se presenta una tabla con los valores máximos permisibles para fuentes fijas.

Tabla IV. Valores máximos permisibles

Fuentes fijas	UDM	Límite máximo permisible	Oxígeno de referencia	Temperatura estándar (°C)	Presión estándar (mmHg)	Referencia
Dióxido de azufre (SO ₂)	mg/Nm ³	2 000	10%	25	760	Ref. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad GUÍAS GENERALES: INTRODUCCIÓN (pág. 8)"
Monóxido de carbono (CO)	mg/Nm ³	575	10%	25	760	Ref. Tabla 1 y 2. NORMA Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
Óxidos de nitrógeno	mg/Nm ³	650	10%	25	760	Ref. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad Guías generales de introducción (pág. 8)"
Material particulado	mg/Nm ³	350	10%	25	760	Ref. Norma Salvadoreña NSO 13.11.02:11 Emisiones atmosféricas, Fuentes fijas puntuales. Inciso 7.6 Industria Azucarera.

Fuente: Ingenios azucareros. Normas y recomendaciones para ingenios azucareros.

4.2.2. Calidad de aire ambiental

Con estas mediciones se pretende establecer la calidad general del aire que se encuentra en los espacios abiertos de la planta industrial y su área de influencia, busca identificar específicamente las condiciones que puedan influir en la dispersión, esparcimiento y propagación de gases y partículas emitidas en las chimeneas de las calderas y que puedan representar un riesgo inmediato o potencial para la salud y seguridad humana.

A continuación, se muestra una tabla con los valores máximos permisibles para la calidad de aire ambiental.

Tabla V. **Valores máximos permisibles**

Calidad del aire	UDM	Tiempo promedio	Límite máximo permisible
Material particulado (Pm ₁₀)	µg/m³	24 horas	150
Material particulado (Pm _{2.5})	µg/m³	24 horas	35
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m³	1 hora	200
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m³	24 horas	210

Fuente: elaboración propia. Normas y recomendaciones para ingenios azucareros. Ingenio azucarero.

4.3. Uso y aplicación de agroquímicos

El uso y aplicación de agroquímicos de forma correcta se hace con el fin de garantizar los resultados esperados de productividad, inocuidad del producto

final, protección del medio ambiente y personas tales como colaboradores, vecinos y consumidores finales del producto.

Los lineamientos generales a seguir, para garantizar la calidad en la aplicación se tratan a continuación.

4.3.1. Autorización nacional y específica de agroquímicos al cultivo

Se debe cumplir respecto al uso de agroquímicos permitidos para uso específico en la caña de azúcar, con registro vigente en el departamento de normas y regulaciones del MAGA.

Por lo tanto, es importante que todos los productos utilizados previamente hayan realizado las pruebas de eficacia como cumplimiento de la ley nacional, así como la seguridad del uso agroquímico lo cual debe ser presentada en la etiqueta del producto.

No se utilizará ningún producto prohibido en el marco de la legislación nacional y todo producto utilizado se basará en las recomendaciones técnicas de la ficha técnica del producto.

4.3.2. Dosificación correcta en base a los límites máximos de residuos permitidos por el mercado

En la agroindustria se realizan los cálculos de dosificación de agroquímicos, con base en estimaciones previas de rendimiento de toneladas de caña por hectárea, en el caso específico de madurantes, considerando la relación de ingrediente activo que el cultivo es capaz de metabolizar sin presentar niveles por arriba de lo permitido por estándares internacionales.

4.3.3. Seguridad en el manejo de agroquímicos

Toda área donde se almacene, manipule o trasiegue agroquímicos debe de contar con protección específica para todo el personal, el cual permanecerá en la empresa, esta misma será la encargada del adecuado lavado de la misma.

4.4. Usos de residuos

A continuación, se describe el uso de residuos para el ingenio azucarero.

4.4.1. Bagazo

El bagazo es usado para la generación de energía renovable.

4.4.2. Cenizas

Las cenizas se utilizan para el acondicionamiento y fertilización de suelos en los campos.

4.4.3. Cachaza

La cachaza es utilizada para el acondicionamiento de suelos.

4.4.4. Aguas residuales

Las aguas residuales se utilizan para fertilización del cultivo de la caña de azúcar, mediante los sistemas de fertiriego y sistemas de tratamiento.

4.4.5. Reutilización de agua

La reutilización del agua en la fábrica, se hace a través del uso de torres de enfriamiento o enfriaderos convencionales.

4.4.6. Melaza

La melaza es un residuo de la producción de azúcar, la cual es utilizada para producir alcohol.

4.4.7. Vinaza

La vinaza se utiliza para la fertilización del cultivo mediante sistemas de fertiriego.

4.5. Conservación de la biodiversidad

El programa de reforestación tiene entre sus prioridades la recuperación y conservación de las cuencas de los ríos en las vertientes del pacífico, como parte de los refuerzos impulsados desde las mesas técnicas para el uso del agua de los ríos; en 2017 se inició la reforestación en las cuencas de los ríos Los Esclavos, Achiguate, Madre Vieja, Bolas y Peraz.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis de costo se tomó en cuenta los costos de mantenimiento correctivo debido a fallas en los ventiladores tiro inducido, la operación de la planta de ceniza, el transporte de los residuos de la planta de ceniza hacia el lugar de aplicación de abono y el costo mantenimiento preventivo después de realizada la modificación de los depuradores de gases y la implementación a la caldera que tomamos como muestra.

5.1. Costo histórico

Para el costo histórico se tomó en cuenta la reparación que se hizo al finalizar la zafra 2016-2017 al ventilador de la caldera de 600 PSI que más sufre desgaste por abrasión, debido al impacto directo de los gases de escape.

El mantenimiento era prácticamente la fabricación de un ventilador nuevo, ya que lo único que se podía rescatar era el eje base para el nuevo ventilador; se tenía que fabricar la estrella soporte, los alabes y los conos de succión.

Después de estar armado el ventilador, se procedía a soldarlo con electrodo 6 011 de 1/8" (ver apéndice 8) y 7 018 de 1/8" (ver apéndice 6); luego se le aplicaba electrodo duro de 5/32" para resistir los impactos de la ceniza y por último se enviaba a una empresa para la aplicación de un blindaje final.

El costo total de reparación del ventilador tiro inducido se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Costo de reparación de ventilador tiro inducido**

REPARACIÓN DE VENTILADOR			
Material	Cantidad	Precio unidad	Costo
Lámina antidesgaste integra 100S de 4,5' X 9.5'	2	Q 21 534,00	Q 43 068,00
Lámina A-36 de 1' X 8' X 12'	1	Q 18 204,46	Q 18 204,46
Electrodo MG-790 de 5/32"	55	Q 151,79	Q 8 348,45
Electrodo 7018 de 1/8"	55	Q 7,32	Q 402,60
Electrodo 6011 de 1/8"	22	Q 7,32	Q 161,04
Oxígeno (termo)	2	Q 265,00	Q 530,00
Acetileno (termo)	1	Q 252,00	Q 252,00
Disco de pulir de 4.1/2"	10	Q 15,99	Q 159,90
Blindaje de ventilador	1	Q 67 500,00	Q 67 500,00
COSTO TOTAL			Q 138 626,45

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.2. Costo de fabricación y montaje de depurador de gases

La fabricación y montaje del depurador de gases se realizó al finalizar la zafra 2016-2017, durante la época de mantenimiento del 2017, esto para monitorear su funcionamiento durante la zafra 2017-2018.

Para la fabricación del depurador de gases se emplearon materiales y suministros que se detallan en la tabla VII, si comparamos este costo con el costo de reparación vemos que representa solo un 27,06 % de dicho valor, lo que nos daría un ahorro en materiales del 72,94 %.

Para el montaje del depurador de gases tomamos el costo de mano de obra que se muestra en la tabla VIII, dicho costo se lo sumamos al costo de fabricación y nos da el total de Q.42 909,44, dicho valor fue lo que costó el proyecto, este valor representa un 30,95 % del costo de mantenimiento; dándonos un ahorro considerable del 69,05 %.

Tabla VII. **Costo de fabricación**

FABRICACIÓN DE DEPURADOR			
Material	Cantidad	Precio unidad	Costo
Lámina A-36 de 18/" X 8' X 20'	6	Q 4 319,37	Q 25 916,22
Tubo de 6" X 20' cedula 40 H.N.	1	Q 1 578,15	Q 1 578,15
Tubo de 4" X 20' cedula 40 H.N.	2	Q 696,43	Q 1 392,86
Tubo de 1.1/2" X 20' cedula 40 H.N.	1	Q 244,29	Q 244,29
Boquilla tipo bete TP64	5	Q 1 157,95	Q 5 789,75
Electrodo 7018 de 1/8"	110	Q 7,32	Q 805,20
Electrodo 6011 de 1/8"	55	Q 7,32	Q 402,60
Oxígeno (termo)	3	Q 265,00	Q 795,00
Acetileno (termo)	2	Q 252,00	Q 504,00
Disco de pulir de 9"	5	Q 15,99	Q 79,95
Tiza para marcar	2	Q 0,71	Q 1,42
Costo total			Q 37 509,44

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VIII. **Costo de mano de obra**

MANO DE OBRA				
PUESTO	NÚMERO	SALARIO	DÍAS	COSTO
	EMPLEADOS	DIARIO	EMPLEADOS	
SOLDADORA	1	Q 125,00	24	Q 3 000,00
AYUDANTE DE SOLDADOR	1	Q 100,00	24	Q 2 400,00
COSTO TOTAL				Q 5 400,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.3. Costo de operación

El costo de operación no es más que el sueldo que perciben el operador de las celdas de sedimentación, el operador de los filtros de ceniza y el ayudante que auxilia a ambos operadores. La operación se realiza en 3 turnos rotativos de 8 horas cada uno, dicho costo se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. **Mano de obra para operación de planta de ceniza**

OPERACIÓN PLANTA DE CENIZA				
PUESTO	NUMERO	SALARIO	DIAS	COSTO
	EMPLEADOS	DIARIO	ZAFRA	
Operador celdas de sedimentación	3	Q 110,00	125	Q 41 250,00
Operador filtros de ceniza	3	Q 110,00	125	Q 41 250,00
Ayudante de celdas y/o filtros	3	Q 100,00	125	Q 37 500,00
COSTO TOTAL				Q 120 000,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.4. Costo de transporte

El transporte para carga de la ceniza final, se hace a través de una empresa sub-contratada, el número de viajes es durante las 24 horas de operación; durante 125 días de zafra. Los costos se presentan a continuación en la tabla X.

Tabla X. Costo de transporte de ceniza

TRANSPORTE DE CENIZA				
EQUIPO	NUMERO VIAJES	COSTO VIAJE	DIAS ZAFRA	COSTO
Camiones tipo palangana	56	Q155,00	125	Q1 085 000,00
COSTO TOTAL				Q1 085 000,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.5. Mantenimiento preventivo de ventilador tiro inducido

Al finalizar la zafra 2017-2018, se revisó el estado del ventilador tiro inducido, se pudo observar la mejoría considerable del estado del ventilador, por lo que se procedió únicamente a hacerle un mantenimiento preventivo.

En la tabla XI se muestra los insumos que se utilizaron para dicho mantenimiento, este valor representa apenas el 7,22 % del costo de reparación del ventilador; lo cual dio un ahorro del 92,78 % en materiales.

Esto refleja la rentabilidad por el buen funcionamiento del depurador de gases.

Tabla XI. **Costo de mantenimiento preventivo de ventilador tiro inducido**

MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
		UNIDAD	
Electrodo MG-790 de 5/32"	55	Q 151,79	Q 8 348,45
Electrodo 7018 de 1/8"	55	Q 7,32	Q 402,60
Electrodo 6011 de 1/8"	33	Q 7,32	Q 241,56
Oxígeno (termo)	2	Q 265,00	Q 530,00
Acetileno (termo)	1	Q 252,00	Q 252,00
Disco de pulir de 4.1/2"	15	Q 15,99	Q 239,85
COSTO TOTAL			Q 10 014,46

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. Se ha centralizado la investigación en la modificación del depurador de gases de una caldera de 600 PSI, esto porque es allí donde se atrapa la mayor cantidad de partículas contaminantes producto de la combustión de bagazo; evitando así que los equipos sufran daños por abrasión. En la tabla XI se muestra el costo actual de mantenimiento preventivo, el cual ayuda a minimizar considerablemente el costo de mantenimiento correctivo que se efectuaba en el pasado, generando un ahorro del 92,78 % para la empresa.
2. Se realizó un análisis del depurador que se tenía instalado en la caldera modelo previo al montaje del nuevo depurador y se pudo mostrar que no es el adecuado, porque durante la zafra 2016-2017 se tuvo que parar de emergencia en dos ocasiones dicha caldera para hacerle mantenimientos correctivos, debido al desbalance que sufrió el ventilador tiro inducido producto al desgaste por abrasión; dicha información se puede ver en la figura 20. Grafica de operación de la caldera antes y después de la instalación.
3. Se ha podido observar que la combustión del bagazo de caña, da como resultado grandes cantidades de ceniza, para lo cual es necesario un adecuado tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento que posee el ingenio es de alto rendimiento, ya que es capaz de manejar toda el agua residual proveniente del

tratamiento de gases de combustión de 9 calderas, tiene una capacidad instalada de 72 100 galones.

4. Se realizó un monitoreo antes y después del montaje del nuevo depurador, para el monitoreo de antes del montaje se tomó como referencia la operación durante la zafra 2016-2017 de la caldera a la cual se le instalaría el depurador, arrojando como resultado dos paros de emergencia por problemas de desbalance en el ventilador tiro inducido; para el monitoreo de después del montaje se tomó como referencia la operación de la misma caldera durante la zafra 2017-2017, dando como resultado una operación continua durante toda la zafra. Dicha información se muestra en figura 21. Comparativo de zafras antes y después de la instalación.

5. Se desarrolló e implementó un formato para llevar registros de la cantidad de lodos en cada una de las etapas de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, esto con el propósito de llevar un mejor control de la cantidad de ceniza que ingresa al sistema, logrando así que los operadores tengan la capacidad de reaccionar cuando ingrese un porcentaje mayor de ceniza al sistema y así aumentar la dosificación de floculante para que el sistema sea capaz de controlar dicho aumento de ceniza.

En la figura 27. Diagrama de tratamiento de aguas residuales, se muestra un diagrama del porcentaje de cenizas en cada una de las etapas y en la figura 28. Formato de control de planta de tratamiento de aguas residuales, el formato para anotar dichos porcentajes de las diferentes etapas.

6. Se ha podido evaluar los diferentes costos para el mantenimiento correctivo y preventivo del ventilador tiro inducido, el costo de mantenimiento correctivo asciende a Q.138 626,45, el costo de fabricación y montaje del nuevo depurador fue de Q.37 509,44, costo de mano de obra para la instalación de dicho depurador fue de Q.5 400,00 y el costo del mantenimiento preventivo de Q.10 014,46.

El ahorro considerable después de una zafra de operación fue del 61,82 % del valor, dicho valor incluye costos de diseño y montaje, costo de mano de obra y costo de mantenimiento preventivos versus el costo que representaba darle mantenimiento correctivo a dicho ventilador.

7. Se realizó una capacitación al personal que opera la planta de tratamiento de aguas residuales, quien operaría el nuevo sistema de lavado, esto para que fueran capaces de reaccionar a aumentos en el ingreso de ceniza al sistema.
8. Cabe resaltar el compromiso que ha adquirido la industria azucarera con respecto al tema del cambio climático, tomando como pilares: El manejo y uso del agua, La calidad del aire, uso y aplicación de agroquímicos, Manejo de residuos y la conservación de la biodiversidad.

RECOMENDACIONES

1. Asegurar que en todo tiempo el color del humo que sale por la chimenea sea de color blanco, si presenta variaciones de color adicionar más agua al depurador de gases, esto debido a que un color oscuro indica que se está expulsando parte de cenizas a la atmósfera.
2. Monitorear la salida de aguas residuales del depurador de gases, si se presenta muy espesa adicionar agua; si se presenta muy clara disminuir la cantidad de agua.
3. Mantener una combustión óptima en la caldera, para evitar exceso de residuos que puedan alterar el funcionamiento del depurador de gases.
4. Garantizar la operación eficiente en las piletas de sedimentación, dosificando la cantidad necesaria de floculante; para producir agua de buena calidad evitando así que las boquillas del depurador de gases se tapen y este opere de forma defectuosa
5. Distribuir la cantidad de lodos que va hacia los filtros en 50 % para cada uno, la velocidad de ambos filtros tiene que ser la adecuada; esto ayudara a que salga lodo más espeso y mejore la eficiencia de la prensa de lodos.

6. Verificar tiempos de llenado, precompactado y compactado de la prensa de lodos, se deben de ajustar para asegurar que en su descarga salga el lodo lo más compacto que se pueda, evitando así el retorno de lodos finos hacia las piletas de sedimentación.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Aplicaciones especiales para el valor de agua.* [en línea]. <<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>>. Consulta: 16 de mayo de 2017.
2. Área tecnología. *Turbinas de vapor partes, funcionamiento, tipos.* [en línea]. <<http://areatecnologia.com/mecanismos/turbina-de-vapor.html>>. Consulta: 16 de mayo de 2017.
3. BLAZQUEZ, Edgar y DIAZ, Marcia. *Influencia de las calderas sobre el medio ambiente.* [en línea]. www.redalyc.org/pdf/1813/181322792003.pdf. Consulta: 29 de mayo de 2017.
4. *Bombas. Teoría, diseño y aplicaciones.* [en línea]. <https://books.google.co.ve/books?id=k5aduoRGsakC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&hl=es-419#v=onepage&q&f=false>. Consulta: 16 de mayo de 2017.
5. *Carbotecnía. Purificación y filtración de agua eficiente para sus procesos.* [en línea]. <<https://carbotecnia.infor/encyclopedia/intercambio-ionico/>>. Consulta: 23 de mayo de 2017.
6. Cengicaña. *Guía para determinar y reducir pérdidas de energía en generación de vapor.* [en línea]. <<https://cengicana.org/info/guia->

para-determinar-y-reducir-perdidas-de-energia-en-generadores-de-vapor>. Consulta: 23 de febrero de 2018.

7. _____. *Manejo de aguas*. <<https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>>. Consulta: 24 de febrero de 2018.
8. _____. *Iniciativas ambientales*. <<https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>>. Consulta: 08 de marzo 2018.
9. _____. *Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. <<https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>>. Consulta: 09 de marzo de 2018.
10. *Combustibles comunes*. [en línea]. <<http://www.sabelotodo.org/combustibles/com> bustibleshtml>>. Consulta: 10 de mayo de 2017.
11. Concepto definición. *La combustión*. [en línea]. <<http://conceptodefinicion.de/combustion/>>. Consulta: 10 de mayo de 2017.
12. Ecured. *Máquina de vapor*. [en línea]. <<https://www.ecured.cu/Vapor>>. Consulta: 8 de mayo de 2017.
13. Gobierno de Cuba. *Azúcar*. [en línea]. <www.cuba.gob.cu/des_eco/azucar.htm>. Consulta: 9 de mayo de 2017.

14. Cuba solar. *Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado*. [en línea]. <[www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Eco_solar03/ HTML/articulo03.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Eco_solar03/HTML/articulo03.htm)>. Consulta: 9 de mayo de 2017.
15. _____. *Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental*. [en línea]. <[www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05 /HTML/articulo01.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm)>. Consulta: 9 de mayo de 2017.
16. ESAB. *Línea de productos*. [en línea]. <<https://www.esab.com/>>. Consulta: 06 de septiembre de 2017.
17. GOLATO, Marcos. *Inyección de aire secundario caliente en calderas de vapor bagaceras y su influencia en el rendimiento térmico*. [en línea]. <<https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=sobre->>. Consulta: 16 de mayo de 2017.
18. Ingenio azucarero. *Operación básica de una caldera acuotubular*. Presentación en programa Microsoft Word 2010.
19. PÉREZ PORTO, Julián. GARDEY, Ana. *Definición de vapor*. [en línea]. <<http://definicion.de/vapor/>>. Consulta: 8 de mayo de 2017.
20. PHIONE Limited. *Productos*. [en línea]. <<http://www.spanish.phione.co.uk/products/tubes/>>. Consulta: 06 de septiembre de 2017.

21. *Powermaster. Deadores, calderas power master.* [en línea].
<<http://www.powermaster.com.mx/www/informacion/deareadoresh tml>>. Consulta: 18 de mayo de 2017.

22. PRIETO, Ismael. *Centrales térmicas. Circuito de aire-humos.* [en línea].
<http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1004/mod_resource/content/1/1 C_C12757_0910/04_GT06_Circuitos_de_aire_humos.pdf>.
Consulta: 16 de mayo de 2017.

23. *SAEM Thales. Centro informático científico de Andalucía.* [en línea].
<<https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo 7.html>>. Consulta: 24 de mayo de 2017.

24. *Quimenet. Bombas centrífugas.* [en línea].
<<https://www.quimenet.com/articulos/las-bombas-centrifugas- 26776.htm>>. Consulta: 15 de mayo de 2017.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tubos en acero A-213

Tubos sin costura de acero ferrítico y de aleación para calderas, recalentadores e intercambiadores de calor de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 213/A 213M.

Composición química

Grado	C	Mn	P \leq	S \leq	Si	Cr	Mo
T11	0.05-0.15	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50-1.00	0.50-1.00	1.00-1.50
T12	0.05-0.15	0.30-0.61	0.025	0.025	\leq 0.50	0.80-1.25	0.44-0.65
T22	0.05-0.15	0.30-0.60	0.025	0.025	\leq 0.50	1.90-2.60	0.87-1.13

Composición mecánica

Grado	Resistencia a la tracción (Mpa)	Punto de fluencia (Mpa)
T11	205	415
T12	220	415
T22	205	415

Fuente: Grupo BS. *Tubos de acero inoxidable*. <https://www.grupo-bs.com/>. Consulta 10 de julio de 2021.

Apéndice 2. Tubos en acero A-178

Tubos soldados por resistencia eléctrica de acero al carbono y carbono manganeso, para calderas y recalentadores de calor de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 178/A 178M.

Composición química

	Grado A carbono bajo	Grado C carbono medio	Grado D carbono-manganeso
Carbono	0.06-0.18	0.35 max	0.27 max
Manganeso	0.27-0.63	0.80 max	1.00-1.50
Fósforo, max	0.035	0.035	0.030
Azufre, max	0.04	0.035	0.015
Silicio	0.10 min

Propiedades mecánicas

Grado	Resistencia la tracción (Mpa)	Punto de fluencia (Mpa)	Elongación (%) en 2 mm o 50 mm
Grado C	255	415	30
Grado D	275	485	30

Fuente: Shaanxi World Iron & Steel. Tubos en acero A-178.

<http://es.worldironsteel.com/steel-pipe/carbon-steel-pipe/astm-a178-weld-boiler-tube.html>.

Consulta: 10 de julio de 2021.

Apéndice 3. Tubos en acero A-513

Está destinada a aplicaciones mecánicas y de presión, también es aceptable para usos ordinarios en la conducción de vapor, agua, gas y las líneas de aire. Este tipo de tubería es apta para ser soldada, así como para operaciones de formado tales como enrollado, plegado y abridamiento.

Composición química

Composición, %	Tipo S Sin costura		Tipo E Soldada con resistencia Eléctrica (ERW)		Tipo F Soldada a tope en alto horno
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B	Grado A
Carbono, max	0.25	0.30	0.25	0.30	0.30
Manganeso	0.95	1.20	0.95	1.20	1.20
Fósforo, max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Azufre, max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cobre, max	0.40	0.40	0.50	0.50	0.40
Níquel, max	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cromo, max	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, max	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vanadio, max	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Propiedades mecánicas.

	Grado A	Grado B
Resistencia a la tracción, min:	48,000 psi [330 MPa]	60,000 psi [415 MPa]
Fluencia, min:	30,000psi [205 MPa]	35,000psi [240 MPa]

Fuente: Aceros Arequipa. *Tubos en acero A-513*. <https://www.acerosarequipa.com/>.

Consulta: 10 de julio de 2021.

Apéndice 4. Lámina A-36

Se utiliza principalmente en el pernado, atornillado, en la construcción de puentes y edificios y para propósitos estructurales en general.

Composición química

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

Fuente: Scribd. Lámina A-36. <https://es.scribd.com/document/421634769/155212543-Composicion-Astm-a-36-1-docx>. Consulta: 10 de julio de 2021.

Apéndice 5. Lámina anti-desgaste Integra 100S

Está compuesta por acero A-36 y un revestimiento resistente al desgaste, aplicado con soldadura por arco; contiene alto volumen de carburos de cromo distribuidos uniformemente a lo largo del espesor del depósito lo que proporciona una superficie adaptada al desgaste abrasivo y propiedades que soportan hasta los 200 °c.

Tipo	Espesor (mm)		Placa dura		Área revestida	
	Plato base (sin soldar)	Revestimiento	Dimensiones (mm)	Peso total (kg)	Dimensiones (mm)	Peso (kg/m)
5 + 3	5	3	1500 X 3000	277	1350 X 2850	64
6 + 4	6	4	1500 X 3000	346	1350 X 2850	80
8 + 5	8	5	1500 X 3000	450	1350 X 2850	104
12 + 8	12	8	1500 X 3000	692	1350 X 2850	160
15 + 5	15	5	1500 X 3000	702	1350 X 2850	160

Color: verde.

Fuente: *Welding Alloys Group. Lámina anti-desgaste Integra 100S.* <https://www.welding-alloys.com/>. Consulta 10 de julio de 2021.

Apéndice 6. Electrodo E7018

Diseñado para la soldadura de aceros al carbón, de alta resistencia y baja aleación; idóneo para soldar aceros con alto contenido de azufre y silicio. Contiene buena calidad radiográfica y gran ductilidad, que además es resistente a las fisuras y grietas.

Es utilizado comúnmente donde se requiere alta resistencia, tales como soldadura de aceros estructurales y puentes; aceros rolados en frío y difíciles de soldar y soldaduras que requieren excelentes propiedades mecánicas.

Composición química

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requerimiento AWS E7018	0.15 máx.	1.60 máx.	0.75 máx.	0.30 máx.	0.20 máx.
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.041	0.87	0.30	0.02	0.03
	%Mo		%V		
Requerimiento AWS E7018	0.30 máx.			0.08 máx.	
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.01			0.021	

Propiedades mecánicas.

	Resistencia a la Cedencia ⁽²⁾ MPa (ksi)	Resistencia a la Tensión MPa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J(ft*lb) @ -30°C (-20°F)
Requerimiento AWS E7018	400 (58) mín.	483 (70) mín.	22 mín.	(20)
Resultados Típicos ⁽³⁾ . Tal como se soldó, Diámetro del Electrodo 1/8" (3.2 mm)	553 (80)	605 (88)	29	(90)

Fuente: *Kiswel. Electrodo E7018.* <https://es.kiswel.com/>. Consulta: 10 de julio de 2021.

Apéndice 7. **Conarcrom 1400**

Es un electrodo resistente al desgaste por abrasión severa y al rozamiento, el depósito es autofisurable siendo conveniente inducir la fisuración mediante un enfriamiento rápido de los cordones; debido a su alto cromo es apto para trabajar en altas temperaturas hasta los 680 °C.

Es ideal para protección de martillos de molienda, mandíbulas, conos, camisas, endurecimientos en trituradoras, rejas, transportadores de coque caliente, escoria y cemento.

Composición química

Análisis de soldadura de metal	
C	Cr
3.5 %	30.6 %

Datos técnicos.

Dureza	63-65 HRC
Polaridad	AC o DC reversa (electrodo +)

Fuente: ESAB. *Conarcrom 1 400*. <https://www.esab.com.mx/mx/sp/index.cfm>. Consulta: 10 de julio de 2021.

Apéndice 8. Electrodo E6011

Diseñado para aplicaciones sobre lámina negra y para soldadura de tubería con corriente alterna, es un electrodo con recubrimiento ligeramente más grueso, cualidad que brinda un arco más suave y con menor chisporroteo comparado con otros electrodos de este tipo.

Es utilizado comúnmente en soldaduras de tubería en aplicaciones no críticas, donde se requiere un arco suave y con poco chisporroteo, en trabajos donde la calidad radiográfica no es requerida y para soldar aceros estructurales, particularmente adecuado para soldar en posiciones difíciles.

Composición química.

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requerimiento AWS E6011	0.20 máx.	1.20 máx.	1.00 máx.	0.30 máx.	0.20 máx.
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.149	0.48	0.18	0.03	0.02
	%Mo	%V	%P	%S	
Requerimiento AWS E6011	0.30 máx.	0.08 máx.	No especificado	No especificado	
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.00	0.009	0.010	0.012	

Propiedades mecánicas.

	Resistencia a la Cedencia ⁽²⁾ Mpa (ksi)	Resistencia a la Tensión Mpa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J(ft*lbft) @ -30°C (-20°F)
Requerimiento AWS E6011	330 (48) mín.	430 (60) mín.	22 mín.	(20)
Resultados Típicos ⁽³⁾ . Tal como se soldó, Diámetro del Electrodo 1/8" (3.2 mm)	518 (75)	581 (84)	30	(48)

Fuente: *Kiswel. Electrodo E6011*. <https://es.kiswel.com/>. Consulta: 10 de junio de 2021.