



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS
PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR**

Rolando Enrique Altán Barrios

Asesorado por Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Guatemala, febrero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROLANDO ENRIQUE ALTÁN BARRIOS

ASESORADO POR EL ING. GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de febrero de 2023.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rolando Enrique Altán Barrios', with a long horizontal stroke extending to the right.

Rolando Enrique Altán Barrios

Guatemala, 24 de enero 2024

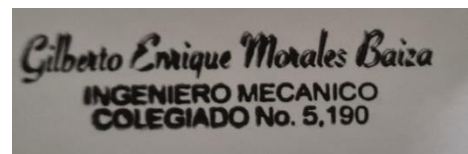
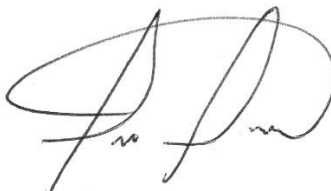
Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante **Rolando Enrique Altán Barrios**, con carne 201800522 y DPI 2935959090103, el cual lleva como título: "**INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR**".

En base a lo anterior, hago de su conocimiento esta información a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular.

Atentamente:



Ingeniero Gilberto Enrique Morales Baiza

Asesor

Colegiado 5,190

Ref.EIM.025.2024

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR** desarrollado por el estudiante: **Rolando Enrique Altán Barrios** con Registro Académico **201800522** y CUI **2935959090103** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

SIST.LNG.DIRECTOR.6.EIM.2024

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, el visto bueno del Coordinador de área, al trabajo de graduación titulado: **INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR**, presentado por: **Rolando Enrique Altán Barrios**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Una firma manuscrita en tinta negra y un sello circular de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.126.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **INSTRUCTIVO DE SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS PIROTUBULARES PARA EL CURSO PLANTAS DE VAPOR**, presentado por: **Rolando Enrique Altán Barrios** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 28/02/2024 16:45:19
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, febrero de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 126 CUI: 2935959090103

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por guiar y bendecir mi camino, permitiéndome conocer la belleza de mi carrera y siempre mostrarme el sendero correcto, aunque en el avance existan caídas.

Mis padres

Sandra Barrios y Francisco Altán, por ser el pilar de lo que hoy soy. He tratado de buscar las palabras correctas para expresar el enorme agradecimiento que llevo en el corazón por tantas luchas que pasaron, por más que busco, no existen.

Mi tía

Cecilia Altán (q. e. p. d.) le pido perdón por haberme tardado tanto, ya que no pude devolverle la felicidad que me dio, donde quiera que esté, debe saber que este triunfo es también por ella y para ella.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis hermanas

Diana y Ana Altán, por ser siempre un trío fuerte que se apoya mutuamente sin importar el caso.

Mis amigos

En general, por haber estado en los días de estrés, ayudándome a llevar la carrera con tranquilidad y felicidad.

Mi familia

Mis tíos y abuelos, porque cada uno de ellos dio un paso a mi lado para formarme no solo como profesional, si no como un ciudadano de bien.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. SITUACIÓN ACTUAL DEL CURSO PLANTAS DE VAPOR	1
1.1. Descripción del programa actual del curso.....	1
1.2. Documentación utilizada.....	1
2. CONCEPTOS RELACIONADOS A CALDERAS.....	3
2.1. Definición de caldera	3
2.1.1. Calderas pirotubulares y acuotubulares	4
2.1.2. Tipos de caldera	5
2.1.3. Partes de una caldera pirotubular	6
2.1.4. Funcionamiento de una caldera pirotubular.....	10
2.1.5. Campos de aplicación	12
2.1.6. Ventajas y desventajas	14
2.2. Sistema de agua.....	15
2.2.1. Tanque de condensado	16
2.2.2. Bomba de agua	17
2.2.3. Control de nivel de agua.....	17
2.2.4. Sistema de tratamiento de agua.....	19
2.2.4.1. Sistema interno.....	19

	2.2.4.2.	Sistema externo	19
2.3.		Sistema de combustión	21
	2.3.1.	Quemador	22
	2.3.2.	Sistema de alimentación de combustible	24
	2.3.3.	Tipos de combustión	26
	2.3.4.	Regulación en la combustión	26
	2.3.5.	Análisis del gas de combustión de la caldera.....	26
2.4.		Parámetros que afectan la eficiencia de una caldera.....	27
	2.4.1.	Exceso de aire.....	27
	2.4.2.	Temperatura de los productos de combustión	29
	2.4.3.	Estado de los tubos del lado de agua y fuego.....	30
	2.4.4.	La purga y la pérdida de calor que genera	32
	2.4.5.	Aire de combustión.....	33
2.5.		Componentes de seguridad	34
	2.5.1.	Válvula de seguridad o alivio.....	35
	2.5.2.	Fotocelda.....	35
	2.5.3.	Control de presión de seguridad	36
	2.5.4.	Control auxiliar de bajo nivel de agua	37
	2.5.5.	Tipos de alarmas.....	38
2.6.		Componentes de operación	39
	2.6.1.	Control primario de llama	39
	2.6.2.	Control de nivel de agua.....	40
	2.6.3.	Control solenoides o electroválvulas	40
	2.6.4.	Interruptor de presión de aire	40
	2.6.5.	Termostatos	40
2.7.		Control programador	41
	2.7.1.	Tablero de control	42
	2.7.2.	Secuencia básica del programador	43
	2.7.3.	Dispositivos que se monitorean.....	43

2.8.	Parámetros que interfieren en el buen funcionamiento de la caldera.....	44
2.8.1.	Dureza	44
2.8.2.	Conductividad	47
2.8.3.	Sólidos totales disueltos en el agua.....	47
3.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE UNA PLANTA DE VAPOR.....	49
3.1.	Selección de una caldera pirotubular	49
3.1.1.	Cálculo de la capacidad necesaria de la caldera....	49
3.1.2.	Diseño de los accesorios.....	50
3.1.3.	Combustible recomendado según proceso	53
3.2.	Diseño del tanque de condensado	55
3.3.	Selección del sistema de agua.....	58
3.3.1.	Diseño de la bomba de agua.....	58
3.3.2.	Sistema de tratamiento de agua recomendado	60
3.3.3.	Sistema continuo de llenado de agua.....	61
3.4.	Selección de los accesorios de seguridad.....	61
4.	OPERACIÓN DE UNA CALDERA PIROTUBULAR	63
4.1.	Encendido general.....	63
4.2.	Regulación de la combustión según necesidad.....	65
4.3.	Cantidad de purga	65
4.4.	Monitoreo del nivel actual de combustible en los tanques.....	66
4.5.	Monitoreo de los parámetros que interfieren en el buen funcionamiento de la caldera.....	68
4.6.	Apagado de la caldera.....	69
4.7.	Presurización de la caldera	70
5.	MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE VAPOR.....	73

5.1.	Limpieza del área	73
5.2.	Revisión periódica de las fugas.....	73
5.3.	Revisión del sistema de seguridad de la caldera	74
5.4.	Regeneración de los sistemas de tratamiento de agua.....	76
5.5.	Mantenimiento del quemador	77
5.6.	Cambio del visor de agua.....	79
5.7.	Problemas comunes en calderas pirotubulares y su posible solución	80
5.8.	Plan de mantenimiento interno de la caldera	81
5.8.1.	Limpieza del carbón generado	81
5.8.2.	Estado de los tubos	82
5.9.	Oportunidades de mejora.....	84
6.	PROBLEMAS PROPUESTOS	85
6.1.	Enunciado de problemas.....	85
6.2.	Solución de problemas.....	87
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		95
APÉNDICES.....		99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Caldera pirotubular y acuotubular	5
Figura 2.	Localización de cada paso.....	6
Figura 3.	Indicador de nivel de agua.....	9
Figura 4.	Hogar y tubos de fuego.....	12
Figura 5.	Control de nivel de agua.....	18
Figura 6.	Suavizadores a base de resina.....	20
Figura 7.	Tanque de salmuera.....	21
Figura 8.	Difusor de caldera pirotubular	23
Figura 9.	Cañón del quemador con boquilla	24
Figura 10.	Eficiencia de la caldera con base en exceso de aire	28
Figura 11.	Eficiencia de la caldera con base en la temperatura de los gases.....	30
Figura 12.	Eficiencia de la caldera con base en el espesor de la incrustación.....	31
Figura 13.	Eficiencia de la caldera con base en el espesor de la capa de hollín	32
Figura 14.	Analizador de gases de combustión	34
Figura 15.	Fotocelda	36
Figura 16.	Alarmas de nivel de agua	39
Figura 17.	Tablero de control.....	42
Figura 18.	Analizador del agua	45
Figura 19.	Muestra del agua de alimentación	46
Figura 20.	Nivel de combustible en tanque principal.....	67

Figura 21.	Aparato detector de fugas	74
Figura 22.	Operario retirando quemador	77
Figura 23.	Boquilla del cañón lista para limpieza.....	78
Figura 24.	Visor nuevo	79
Figura 25.	Hogar de la caldera	82
Figura 26.	Tubos de fuego de caldera pirotubular de 500hp	83

TABLAS

Tabla 1.	Eficiencia de los gases de combustión con base en exceso de CO ₂	27
-----------------	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hp	Boiler horsepower
CE	Capacidad de evaporación
Q	Caudal
CO ₂	Dióxido de carbono
GPM	Galones por minuto
°C	Grados centígrados
GE	Gravedad específica
kg	Kilogramos

GLOSARIO

BHP	Es la capacidad que tiene una caldera de entregar vapor al sistema. Por lo general es la cantidad de calor que se necesita para evaporar 15.6 kg de agua.
Bunker	Es un tipo de combustible que proviene de la primera etapa del proceso de refinación del petróleo, es viscoso y con alto contenido energético.
Bypass	Conexión de tubería entre un lado de aspiración y un lado de descarga de un grupo elevador de presión
CE	Capacidad de una caldera pirotubular de evaporar agua
CO₂	Dióxido de carbono
Dámper	Es una polea diseñada para neutralizar fuertes vibraciones que los giros producen
GE	Gravedad específica
GPM	Cantidad de galones por minuto
kg	Kilogramos

Colector	Es un conducto ancho que se bifurca en conductos más pequeños
Modutrol	Son motores de retorno por resorte que se usan para controlar válvulas o compuertas
Pitting	Es un tipo de corrosión por picadura en metal
Q	Cantidad de fluido que circula por el sistema
RESET	Reiniciar
Vapor flash	Es el vapor que se genera a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.

RESUMEN

Las calderas en general son máquinas complejas utilizadas para la producción de vapor; esto conlleva que se encuentren compuestas por distintos elementos de seguridad, control y monitoreo. Son ampliamente utilizadas en la industria para distintos procesos que hacen uso de la potencia y el calor que el vapor entrega.

El propósito principal de este trabajo radica en fomentar la idea de que el ámbito laboral y profesional, relacionado a calderas pirotubulares, no está tan lejos de lo enseñado en el curso de plantas de vapor. Si bien parece un área que posee problemáticas complicadas con soluciones muy complejas, la realidad muchas veces es diferente, ya que las soluciones suelen ser muy básicas y no se puede ver a simple vista.

Se decidió tomar como base el funcionamiento y teoría de una caldera pirotubular, puesto que es muy usada en la industria, su monitoreo y control son fáciles de entender para el estudiante y son muy estudiadas en el curso. Se parte dando una teoría básica sobre calderas pirotubulares para una mejor comprensión y análisis de las problemáticas que se dan en la vida cotidiana.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un instructivo de selección, operación y mantenimiento de calderas pirotubulares para el curso plantas de vapor.

Específicos

1. Definir la necesidad de un instructivo de selección, operación y mantenimiento de calderas pirotubulares que refuerce el contenido programático del curso plantas de vapor.
2. Describir conceptos básicos de calderas pirotubulares relacionados a sus características, operación y mantenimiento.
3. Desarrollar los problemas complementarios para cada capítulo del instructivo.
4. Examinar por medio de una encuesta de satisfacción, expuesta a los catedráticos del curso, la viabilidad conveniente del instructivo de selección, operación y mantenimiento de calderas pirotubulares para el curso plantas de vapor.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la formación y capacitación en el campo de las plantas de vapor, resulta innegable la importancia de abordar de manera integral el estudio, selección, operación y mantenimiento de calderas pirotubulares. Son fundamentales en los sistemas de generación de vapor desempeñan un papel crucial en diversas industrias, desde la generación de energía hasta la manufactura. La adquisición de conocimientos teóricos en este ámbito es indudablemente valiosa, sin embargo, la necesidad de complementar estos fundamentos con algunas experiencias prácticas es una realidad que no debe pasarse por alto.

La combinación de sólidos fundamentos teóricos con experiencias prácticas fortalece significativamente la formación de individuos, preparándolos de manera eficaz para enfrentar los desafíos que presenta la operación segura y eficiente de sistemas de vapor en la vida real. Se busca contribuir a la creación de un recurso educativo valioso que complemente el conocimiento existente en el curso y prepare a los estudiantes para aplicar sus habilidades de manera efectiva en entornos industriales.

En consecuencia, brindar un instrumento que complemente la enseñanza e inspire a futuros profesionales en el campo a adquirir no solo conocimientos teóricos sólidos, sino también la confianza y competencia necesaria para enfrentar desafíos reales.

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL CURSO PLANTAS DE VAPOR

1.1. Descripción del programa actual del curso

El curso plantas de vapor se ha instruido a los alumnos de una manera teórica la cual en cierto punto es complicada de entender para los estudiantes de la carrera, por lo que un correcto balance entre aprendizaje teórico – practico es la mejor opción para que el alumno logre comprender una gran cantidad de puntos de vista acerca del tema por tratar.

Las calderas pirotubulares abarcan un campo grande en el área de estudio de termodinámica y mecánica del curso, sin embargo, las problemáticas que pueden surgir en el ámbito laboral son de todo tipo y pueden llegar a ser demasiadas para aprenderlas en poco tiempo, por lo que la teoría y práctica del curso puede no llegar a cubrir todas las necesidades que el profesional puede llegar a necesitar.

1.2. Documentación utilizada

El estudiante no acude a la documentación que tiene propuesta el curso, debido a que el catedrático analiza con anterioridad el tema y propone el material que se utilizará; por eso es necesario tener un buen documento que refuerce la materia vista, y ayude al alumno a guiarse por sí solo al momento de ir al campo laboral.

2. CONCEPTOS RELACIONADOS A CALDERAS

2.1. Definición de caldera

En cuanto a la definición de una caldera, Junta de Castilla y León (2009) explica que una caldera es una máquina o aparato cerrado y parcialmente lleno de agua, diseñado y fabricado para la producción de agua caliente y vapor de agua a alta presión, por encima de la presión atmosférica y alta temperatura durante un proceso transferencia energética de un combustible a un fluido de trabajo.

El ejemplo más común de caldera es la conocida olla de presión. La transferencia térmica consiste en la aplicación de calor procedente de varias fuentes, por ejemplo, combustible, electricidad, nuclear, solar, entre otros. para hervir el agua y producir vapor. Debido a que estos vapores están confinados en el espacio al aumentar la presión interna aumenta la temperatura llevando al punto de ebullición al agua; llegando así a alcanzar valores de temperatura altos.

Considerando que la energía para calentar agua y producir vapor se obtiene quemando combustible sólido, líquido o gaseoso, la caldera consta de una sección donde se consume el combustible (lado de combustión) y otra sección donde circula el agua para vapor (lado de agua).

2.1.1. Calderas pirotubulares y acuotubulares

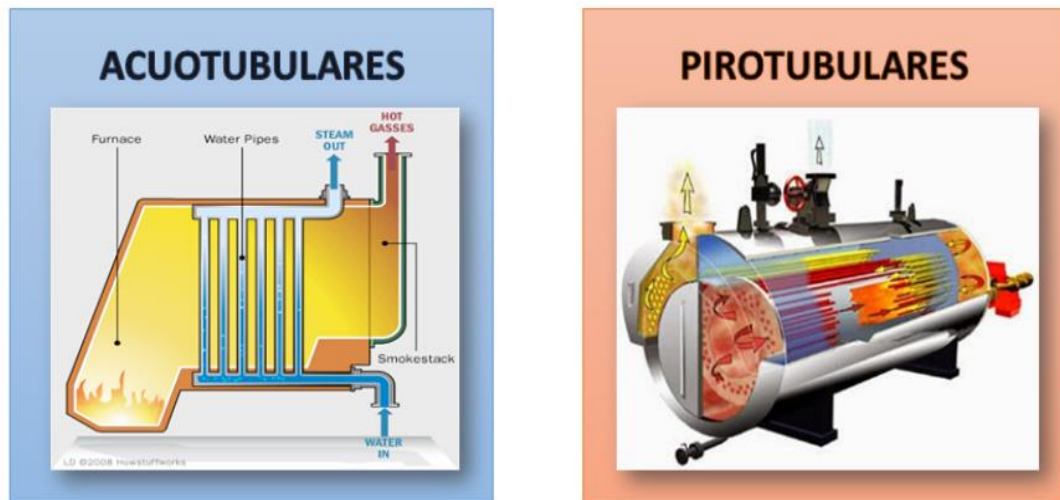
Calderas las hay de diferentes tipos y para diversas aplicaciones, tanto para instalaciones pequeñas como para enormes instalaciones industriales, las más comunes de encontrar son las calderas pirotubulares y acuotubulares, su misión es la misma pero el proceso para llegar a ella es diferente.

En cuanto a una caldera pirotubular, Junta de Castilla y León (2009) la define como un equipo por el cual los gases calientes fluyen en el interior del hogar o fogón recorriendo todo su interior hasta llegar a los tubos de fuego, el agua por otra parte rodea estos tubos bañándolos por completo, por diferencia de temperatura entre el agua y los tubos se forma una transferencia de calor del fluido con temperatura mayor, los gases de combustión, y el fluido con menor temperatura, el agua, de este modo el agua se calienta hasta un punto de ebullición convirtiéndose en vapor. Los son expulsados por la chimenea y el vapor generado burbujan en el resto del agua para concentrarse en el domo donde se extraen para el proceso. Calderas pirotubulares las hay de uno y dos hogares.

Por otro lado, en las calderas acuotubulares el agua y el vapor circulan dentro de los tubos, mientras que el fuego y los gases calientes se encuentran en contacto con la superficie externa de los tubos. Las más comunes cuentan con dos domos ensamblados en el campo según su capacidad y un horno integral. Este tipo de calderas pueden llegar a capacidades de cien mil hasta un millón de libras de vapor por hora, y la potencia de estas se encuentra entre cinco BHP hasta diez mil BHP; se hace uso de estas calderas para obtener presiones muy elevadas que la caldera pirotubular no puede alcanzar.

Figura 1.

Caldera pirotubular y acuotubular



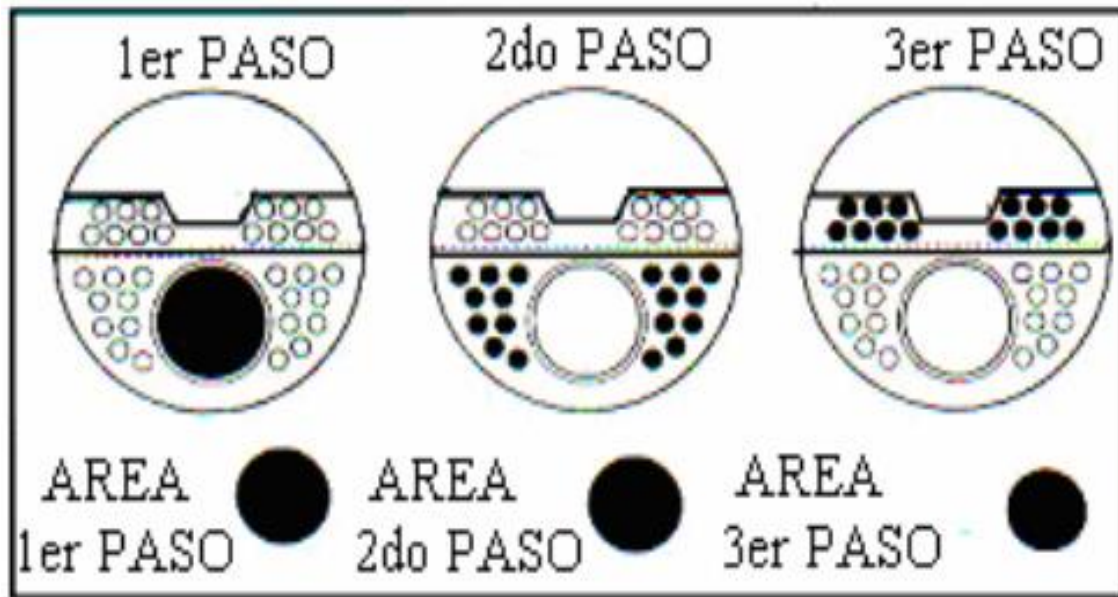
Nota. Diferencia estructural entre caldera pirotubular y acuotubular. Obtenido Universidad Industrial de Santander. (2014). *Mantenimiento de calderas* (<https://slideplayer.es/slide/3341003/>), consultado el 12 de julio de 2023. De dominio público.

2.1.2. Tipos de caldera

Es posible encontrar calderas pirotubulares en diferentes formas, estas se nombran dependiendo la cantidad de recorridos que tienen los gases de combustión dentro de ellas, denominados pasos; las hay de un, dos, tres y cuatro pasos.

Figura 2.

Localización de cada paso



Nota. Pasos de la caldera. Obtenido Universidad Escuela Politécnica Nacional. (2006). *Generación de vapor* (<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>), consultado el 12 de julio de 2023. De dominio público.

2.1.3. Partes de una caldera pirotubular

Las calderas pirotubulares por lo general no varían las partes que la componen, por lo que en la mayoría de los casos mantendrán la misma estructura, las partes principales que las componen son:

- Hogar: es la zona donde se realiza la combustión y lugar donde la llama se genera para su pronto recorrido por los tubos

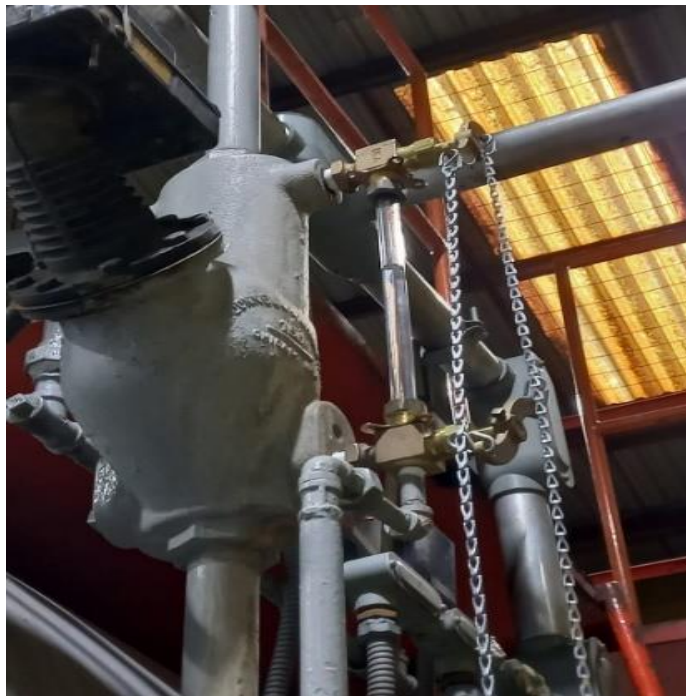
- Tubos de fuego: son los que permiten el paso de los gases de combustión que luego son dirigidos a la chimenea, un trayecto sin cambio de dirección por parte de los tubos es conocido como paso.
- Caja de humos: es zona donde se localizan los tubos de fuego por donde pasan los gases de combustión que luego son llevados a la chimenea.
- Chimenea: es por donde los gases de combustión son expulsados al medio ambiente
- Cámara de vapor: aquí se almacena el vapor de agua que luego es dirigido por tuberías al proceso donde se necesite
- Indicador de nivel de agua: es una de las partes más importantes en la práctica, debido a que nos muestra que tanta agua tiene por dentro la caldera, en caso de que esta se quede sin agua hay riesgo de que los tubos se deformen debido a las altas temperaturas.
- Válvulas de seguridad: se abre cuando la presión dentro de la caldera es superior a la establecida y evita que la caldera estalle, por lo general se tienen dos válvulas por caldera.
- Válvula de parada de vapor: permite controlar el vapor para mantenerlo en los límites deseados
- Válvula de retención de alimentos: permite a la caldera solicitar agua cuando esta llegue a un límite inferior establecido (límite que se puede observar en el indicador de nivel de agua)

- Carcaza: es la estructura exterior de la caldera, lo que se ve a simple vista y sobre la cual se arma todo el sistema
- Entrada de hombre: es una compuerta situada en la parte superior de la caldera, esta se abre para permitir observar el interior de la caldera cuando se necesite hacer mantenimiento.
- Quemador: es el principal elemento que genera la llama y la mantienen encendida, por el pasa la mezcla de combustible y aire necesaria para la combustión.
- Bomba de agua: suministra agua a la caldera cuando esta lo necite
- Manómetros: indican las presiones internas de la caldera, así como la presión de trabajo del aire, combustible y agua
- Panel de control: nos permite monitorear el estado de la caldera y desde acá ocurre el proceso de encendido, apagado, cambio de modo, modo automático o manual de la caldera, entre otros procesos de control.
- Sistemas de control: entre estos están los sistemas de control de presión y el sistema de control de agua. Permiten tener la seguridad de que la caldera se detendrá en caso de que ocurra un fallo.
- Sistema de agua: encontramos el tanque de condensado que es donde se encuentra el vapor condensado que no se utilizó en el proceso y el cual regresará al tanque para pasar de nuevo a la caldera.

- Colector: contiene el vapor que será llevado a los procesos cuando se solicite
- Válvulas de purga: permiten extraer los sedimentos y natas que se encuentran en el agua de la caldera
- Espejos: soportes para las bocas de los tubos de humo en la parte posterior y anterior del cuerpo de la caldera

Figura 3.

Indicador de nivel de agua



Nota. Indicador de agua de caldera pirotubular. Elaboración propia.

2.1.4. Funcionamiento de una caldera pirotubular

La caldera pirotubular o caldera de tubos de fuego, es la caldera que más se utiliza en procesos industriales y comerciales, debido a su tamaño y potencia. Las características y funcionamiento de cada caldera varían según la necesidad de la persona que la necesite; es decir, una caldera para una empresa de alimentos entre su sistema puede tener un economizador. Según la Junta de Castilla y León (2009) “son unos equipos intercambiadores de calor gas-liquido cuya misión principal es elevar la temperatura del agua de alimentación a costa de absorber calor de los humos” (p. 43).

La forma elíptica de la caldera no es por simple diseño, esto tiene un por qué y es de suma importancia mencionarlo. El efecto que tiene el diseño elíptico es de suma importancia para las tensiones y requerimientos de esfuerzo de una caldera; la presión de un fluido se transmite con igual intensidad y de manera uniforme en todas las direcciones, por lo que un recipiente de forma irregular sujeto a una presión interna siempre tiene en sus esfuerzos y distribución de estos ha una forma esférica perfecta. En base a ese pensamiento la primera tendencia que el líquido tendría dentro de un recipiente ovalado sería cambiar su sección por la de un círculo perfecto.

Tomando en cuenta un fondo plano de un recipiente con muy poca presión en su interior y comparándolo con un fondo esférico o abombado, el esfuerzo puede disminuir o contrarrestarse con dicha forma, por esto es por lo que los fondos de las calderas suelen ser prácticamente curvos en forma elíptica. Las calderas pirotubulares que cuentan con fondo plano requieren de tirantes transversales o diagonales para poder resistir la presión de trabajo requerida.

Teniendo en cuenta lo anterior el funcionamiento de una caldera es bastante sencillo de comprender. Una máquina o recipiente que hace uso de combustible, para calentar agua hasta llevarla a su punto de ebullición y generar vapor, el cual será utilizado para diferentes procesos industriales o sanitización.

Es común que el estudiante cuestione sobre el funcionamiento interno del combustible en el sistema de vapor, acerca de las horas de labor de una caldera o si el agua de alimentación puede ser de cualquier fuente, entre otros; una respuesta detallada sobre el funcionamiento general de una caldera puede ser.

Dentro de la caldera se tiene almacenada agua previamente tratada para evitar incrustaciones debido a los minerales que esta tiene; debe existir un chispazo inicial para que se genera la llama que calentará dicha agua, esto sucede en el quemador, donde con ayuda de combustible en forma de gas y electrodos de ignición forman la primera llama, luego de haberse formado la llama el combustible en forma de gas cumple su función y deja de circular por el sistema, dando paso al combustible líquido bombeado desde un tanque hacia la caldera por tuberías, el cual se queda durante el resto del proceso.

Luego de haberse encendido la llama el agua comienza a calentarse separándose por estados, líquido y gaseoso, el vapor comienza a subir y pasa por el colector que lo retiene hasta que algún proceso lo solicite. Luego de haber llegado al proceso y cumplida su función, el vapor se condensa y retorna al tanque de condensado, en el cual se mantendrá caliente hasta que la caldera solicite agua nuevamente, y así el ciclo se mantiene. El agua que la caldera utiliza proviene de muchas fuentes como pozos, pero esta debe ser

tratada con suavizadores para eliminar los minerales que pueden incrustar el interior de la caldera.

Figura 4.

Hogar y tubos de fuego



Nota. Caldera pirotubular de quinientos hp abierta para inspección. Elaboración propia.

2.1.5. Campos de aplicación

- Campo de aplicación de calderas pirotubulares de un hogar
 - Tienen una producción de vapor desde 0.2 a 27 toneladas de vapor por hora

- Presiones de trabajo inferiores a 27 bar
- Generan agua caliente hasta 105 °C
- Generan agua sobrecalentada por encima de 105 °C
- Son calderas de vapor saturado sin economizador
- Rendimiento medio de 88.5 %
- Campo de aplicación de calderas pirotubulares de dos hogares
 - Tienen una producción de vapor desde 25 a 60 toneladas de vapor por hora
 - Presiones de trabajo inferiores a 27 bar
 - Generan agua caliente hasta 105 °C
 - Generan agua sobrecalentada por encima de 105 °C
 - Son calderas de vapor saturado con economizador
 - Rendimiento medio de 97 %

Las calderas pirotubulares tienen diferentes áreas en las que pueden ser utilizadas, industrial o médico. Algunos campos que hacen uso de calderas son:

- Cocción de alimentos
- Lavado y planchado
- Tratamientos de esterilización
- Alimentación de turbinas
- Aseo de pacientes en los hospitales

2.1.6. Ventajas y desventajas

- Ventajas de calderas pirotubulares de un hogar
 - Construcción compacta
 - Menor coste de adquisición
 - Menor coste de instalación
 - Posee una gran capacidad de acumular energía
 - Alta calidad de vapor
- Ventajas de una caldera pirotubular de dos hogares
 - Construcción compacta
 - Alta calidad de vapor

- Costo de adquisición bajo
- Costo de adquisición bajo
- Gran capacidad de acumular energía
- Alto rendimiento
- Desventajas de una caldera pirotubular de un hogar:
 - Producción límite de 27 toneladas de vapor por hora
 - Presión segura de trabajo por debajo de 27 bar
- Desventajas de una caldera pirotubular de dos hogares
 - Producción límite de 60 toneladas de vapor por hora
 - Presión de trabajo máxima de 27 bar

2.2. Sistema de agua

El sistema de agua de una caldera es uno de los más importantes, sin él no existe vapor, un sistema de agua común está compuesto por el tanque de condensado o alimentación, una bomba de agua, el control de nivel de agua y un sistema de tratamiento del agua.

2.2.1. Tanque de condensado

En él se recolecta el condensado que se recupera de los procesos y se mezcla con agua nueva que entra del sistema de tratamiento de agua. Sirve para abastecer la caldera cuando esta lo pida. Tiene que lograr mantener el agua de alimentación a una temperatura lo más elevada posible sin que se evapore para no producir vapor flash.

Un tanque de condensado debe cumplir con mantener una reserva mínima de agua para alimentar la caldera durante 15 y 30 minutos. El tanque mejora la economía de la producción debido a que perderlo en el proceso significa tener que volver a generar ese vapor. Su forma generalmente es cilíndrica y está hecho de hierro de fundición; debe estar en un lugar elevado y resguardado de las bajas temperaturas.

Está compuesto por:

- Una entrada de agua regulada por un bypass
- La entrada de retorno de condensado que viene de los procesos
- Ventilación para el escape del vapor flash
- Drenajes para su mantenimiento
- Un visor que muestre el nivel de agua
- Termómetro

- Salida de agua a la bomba

Los tanques de condensado pueden precalentar el agua nueva lo cual es conveniente para la caldera ya que entre más caliente esté, menos cuesta evaporarla.

2.2.2. Bomba de agua

La bomba de agua debe ser tipo centrífuga, es muy común que esta se compre junto con la caldera. La presión de descarga varía y generalmente suele ser del 110 % al 125 % de la presión del tambor de la caldera.

2.2.3. Control de nivel de agua

El control de nivel de agua más utilizado es el tipo flotador que se compone de cuatro elementos:

- La cámara del flotador: que normalmente es de hierro fundido y se conecta a la caldera por medio de tubería
- El cabezal: compuesto por una caja que contiene los interruptores de accionamiento que se accionan con el bajo nivel de agua y para el control de alimentación de la bomba de agua.
- Fuelle
- Flotador o boya de flotación

Son conocidos como McDonnell debido a la marca del fabricante, pero dentro del campo se les llama así. El nivel de agua suele tener tres puntos, el

nivel A, que indica un alto nivel de agua por lo que la bomba de alimentación se apaga. El nivel B, la bomba que suministra agua a la caldera arranca cuando llega a ese nivel. El nivel C, en este punto la caldera suele apagarse debido al bajo nivel de agua y se activa una alarma, debido a que puede ser peligroso.

Figura 5.

Control de nivel de agua



Nota. Control de nivel de agua de una caldera pirotubular de quinientos hp. Elaboración propia.

2.2.4. Sistema de tratamiento de agua

El agua proveniente de un pozo suele venir con minerales de calcio y magnesio en ella, lo cual causa incrustaciones en la cámara de agua de la caldera e incluso en el exterior de los tubos de fuego; por ellos es necesario tratarla para disminuir la dureza que esta tiene, una dureza ideal y que se debe buscar, es cero.

2.2.4.1. Sistema interno

Este sistema está comprendido por la utilización de productos químicos recomendados por un analista de agua de acuerdo con el proceso que necesita vapor, una empresa que lo necesita para alimentos debe regular este sistema.

2.2.4.2. Sistema externo

El sistema externo tiene que incluir suavizadores de zeolita de sodio; los hay de muchos tipos, suavizadores que hacen uso de resina o carbón; deben acompañarlos un tanque de salmuera, donde se mezcla agua con sal para su limpieza.

Figura 6.

Suavizadores a base de resina



Nota. Dos suavizadores a base de resina a cargo del tratamiento de dos calderas pirotubulares. Elaboración propia.

Figura 7.

Tanque de salmuera



Nota. Tanque de salmuera que se utiliza para dos suavizadores. Elaboración propia.

2.3. Sistema de combustión

Este sistema permite la transformación de combustible en calor para la generación de vapor necesario en los distintos procesos; debe ser un proceso bien balanceado para evitar errores en llama o sobrecalentamientos excesivos en la caldera.

2.3.1. Quemador

Es un conjunto de componentes mecánicos y eléctricos que permiten la mezcla de aire y combustible; se encuentra en la parte delantera de la caldera. Sus componentes son:

- Boquillas: permite la atomización del combustible
- Porta boquillas: en ella se apoya la boquilla
- Electrodo de ignición: permite el chispazo inicial
- Fococelda: monitorea el interior del hogar, cuando la caldera se encuentra en reposo o apagada si existe llama, hace sonar la alarma.
- Cañón: permite el paso del combustible hacia la boquilla
- Difusor: permite darle forma a la llama
- Ventilador: impulsa la llama hacia el final del hogar
- Cables de ignición: les da la orden a los electrodos para general la ignición
- Tubería de gas piloto: lleva el gas hacia la boquilla
- Transformador de ignición: produce el aumento o disminución en los circuitos

Figura 8.

Difusor de caldera pirotubular



Nota. Difusor de caldera pirotubular de trescientos hp. Elaboración propia.

Figura 9.

Cañón del quemador con boquilla



Nota. Mesa metálica donde se puede observar un quemador de caldera pirotubular de trescientos hp junto con chatarra. Elaboración propia.

2.3.2. Sistema de alimentación de combustible

Suministra el combustible en la presión, temperatura y cantidad de trabajo necesaria para la generación de la llama, algunos modelos vienen con sistemas de gas propano o mixtos; suelen utilizar aceites pesados no. 4, 5 o 6. Sus componentes son:

- Tanque de combustible: contiene el combustible necesario para el calentamiento
- Línea de combustible: lleva el combustible a la caldera por medio de una bomba de desplazamiento positivo de engranajes a velocidad lenta (350 a 400 rpm); incluye un calentador eléctrico y válvulas solenoides.
- Aire de atomización: permite la correcta expansión del combustible por el hogar, convirtiendo el combustible en partículas pequeñas, cuenta con un compresor de aire, válvula de purga de aire, filtro y un regulador de presión.
- Aire de combustión: necesario para la llama, debe tener una correcta proporción, cuenta con un ventilador y un dámper
- Línea de gas propano: lleva el gas al quemador para el chispazo inicial
- Control mecánico de combustible: se le llama colector de combustible, gradúa la cantidad de combustible que pasa al quemador, consta de llaves de paso, manómetros, levas moduladoras para dosificar más o menos combustible.
- Tirador de combustible: se le llama cañón, aquí se ubica la boquilla y regula la cantidad de combustible que la caldera quema dependiendo el tamaño de la boquilla.

2.3.3. Tipos de combustión

La combustión suele tener dos categorías, mala y buena. Una buena combustión suele determinarse a simple vista, con gases de combustión provenientes de la chimenea casi transparentes, lo que indican una buena mezcla aire-combustible; mientras que una mala combustión suele traer consigo gases de color negro, lo cual indica exceso de combustible, o de aire.

2.3.4. Regulación en la combustión

La regulación para una buena combustión suele verse afectada por dos parámetros, la cantidad de aire que se le da a la mezcla o la cantidad de combustible que se le inyecta a la mezcla. Lo más simple que se puede realizar para variar la regulación, es modificar la apertura del difusor por medio de un modutrol, que genera la apertura necesaria para una combustión alta, media o baja; esto dependerá de los parámetros que se le hayan implementado y que solo se podrán determinar con la prueba y error. Otra regulación es por medio de la leva reguladora de combustible, que permite el paso de este según se regule.

2.3.5. Análisis del gas de combustión de la caldera

Lo correcto en el caso de un operario o supervisor de caldera, es supervisar periódicamente los gases de combustión que genera la caldera, ya que en estos se indica el exceso de aire que se tiene y combustible sin quemar. El oxígeno es recomendable tenerlo en un máximo de 1-2 % y no deberá existir monóxido de carbono.

La eficiencia de la caldera se ve determinada por el exceso de CO₂ que se tiene presente en los gases de combustión, los cuales se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Eficiencia de los gases de combustión con base en exceso de CO₂

	Exceso de CO ₂		
EFICIENCIA	En Gas	En Diesel	En Bunker
Excelente	10 %	12.8 %	13.8 %
Buena	9 %	11.5 %	13 %
Regular	8.5 %	10 %	12.5 %
Pobre	8.5 %	9 %	12 %

Nota. Tabla que muestra el comportamiento de la eficiencia en base al CO₂ para tres tipos de combustibles en calderas pirotubulares. Elaboración propia, realizado con Word.

2.4. Parámetros que afectan la eficiencia de una caldera

En la caldera existen ciertos parámetros que perjudican la manera de trabajar de esta, entre ellos está el ya antes mencionado exceso de aire, la temperatura a la que los gases de combustión son expulsados al medio ambiente por la chimenea, el estado de los tubos de fuego, el aire de combustión y el que para muchos es el parámetro que le da vida a la caldera, la purga.

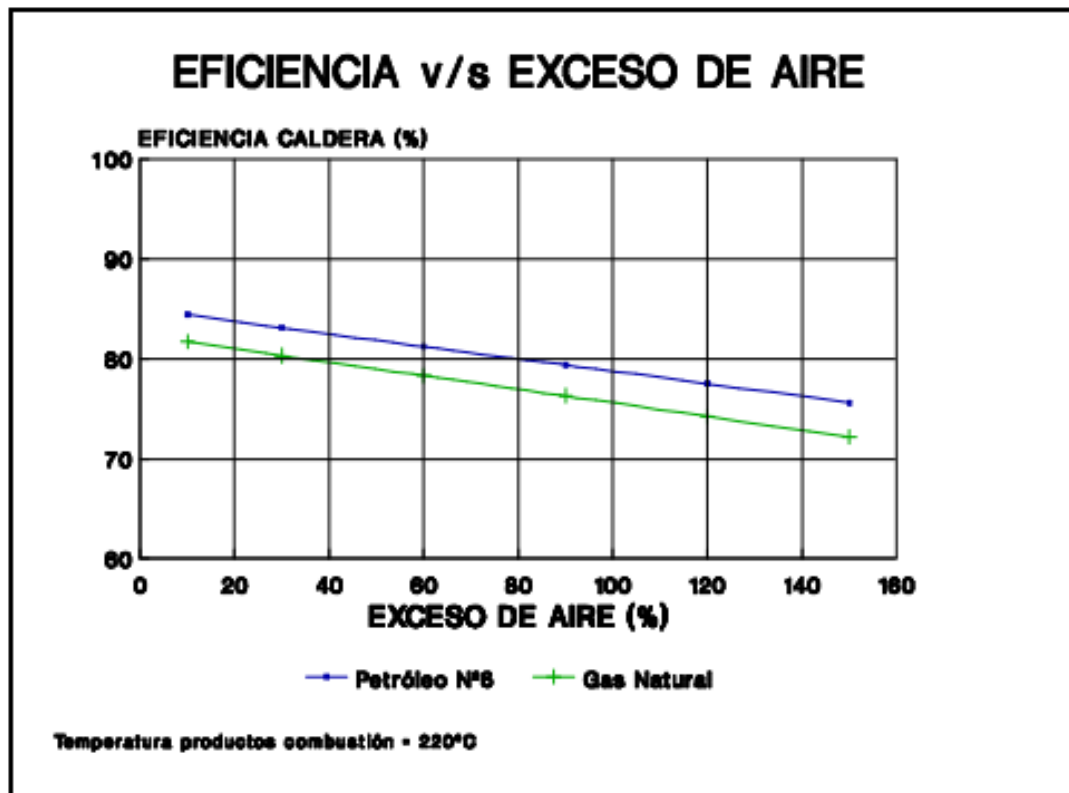
2.4.1. Exceso de aire

Una buena mezcla de aire-combustible es necesaria para una combustión eficiente; la cantidad de aire que la mezcla lleva depende del tipo de combustible que esta tenga. La eficiencia de la caldera se ve afectada por

el exceso de aire, pero siempre debe existir, debido a que ausencia de aire o escasez de aire suele traer consigo una combustión pobre.

Figura 10.

Eficiencia de la caldera con base en exceso de aire



Nota. Comportamiento de la eficiencia de una caldera pirotubular en base al exceso de aire en la mezcla aire combustible. Adaptado de Thermal Engineering Ltda (2022). *Análisis de la eficiencia en calderas*. (https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos), consultado el 13 de Julio de 2023. De dominio público.

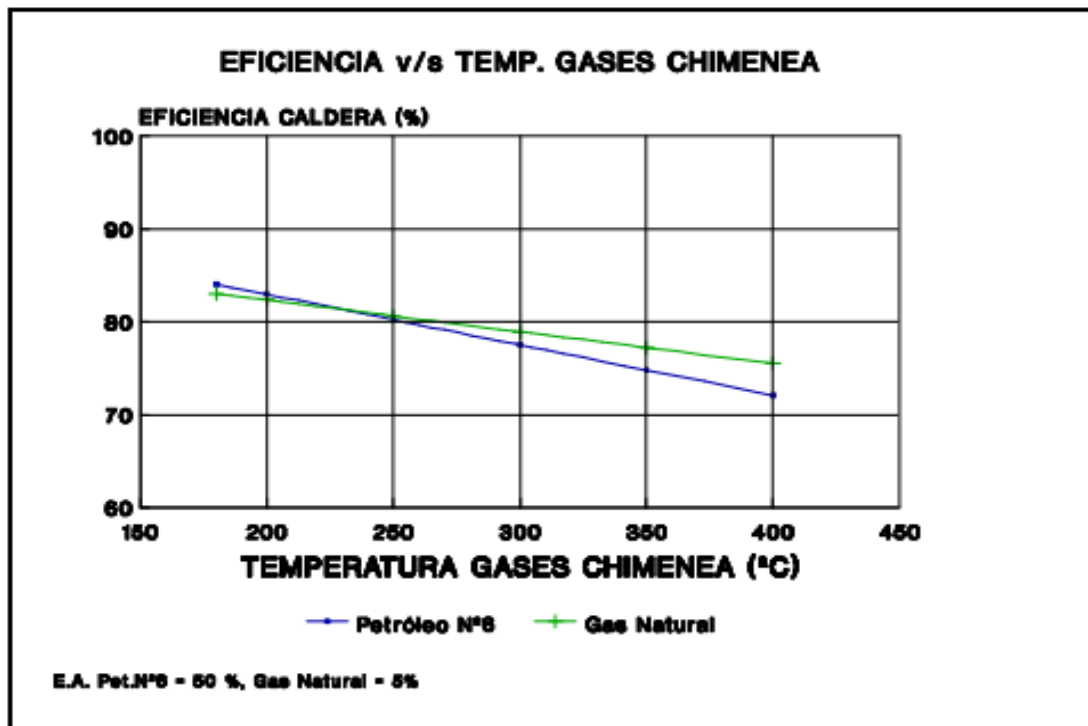
2.4.2. Temperatura de los productos de combustión

Durante el proceso de combustión se generan productos o gases que son expulsados al medio ambiente. La temperatura de estos gases se toma directamente de la chimenea y pueden ser estudiados como se observó anteriormente para determinar la eficiencia de las calderas. Aunque su estudio sea positivo para el control de la caldera, es negativo cuando se habla de pérdidas debido a que representan un 12 % de las pérdidas de calor que se tienen en las calderas.

La disminución de la eficiencia se ve afectada en la Figura 11.

Figura 11.

Eficiencia de la caldera con base en la temperatura de los gases



Nota. Comportamiento de la eficiencia de una caldera pirotubular en base a la temperatura de los gases de chimenea. Adaptado de Thermal Engineering Ltda (2022). *Análisis de la eficiencia en calderas*. (https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos), consultado el 13 de Julio de 2023. De dominio público

2.4.3. Estado de los tubos del lado de agua y fuego

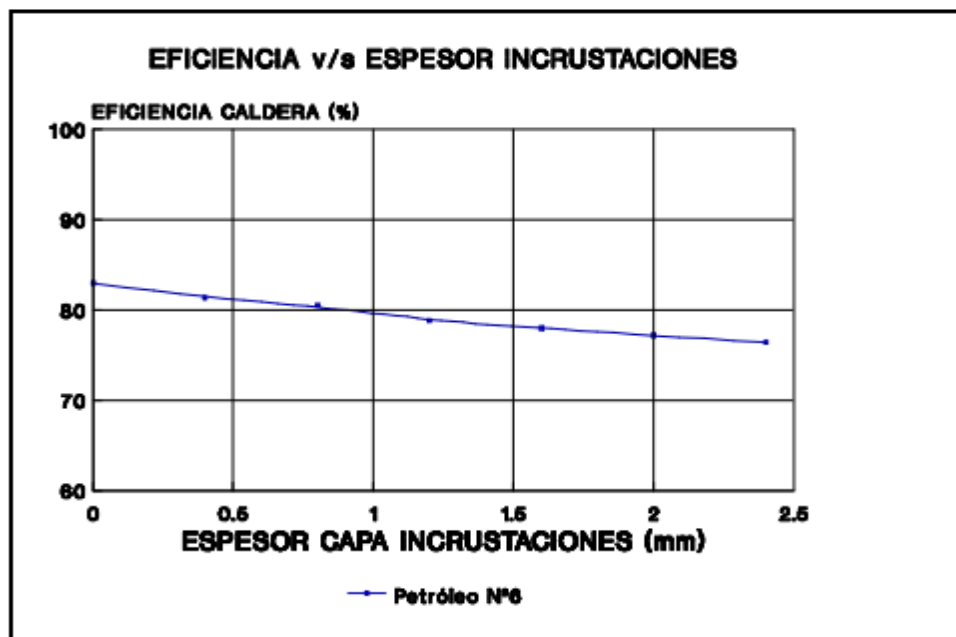
Las incrustaciones que genera el mal tratamiento del agua para calderas pueden ocasionar pérdidas en la eficiencia de la caldera, esto debido a que los tubos de fuego pueden verse envueltos por esta incrustación, haciendo ineficiente la transferencia de calor entre el agua y los tubos. La incrustación no daña el interior de los tubos puesto que se genera en el exterior

de estos, sin embargo, con el paso del tiempo pueden llegar a picarse y generar inundaciones en los tubos y el hogar, a este fenómeno se le conoce como pitting.

En el interior de los tubos con el paso del tiempo se generará hollín, es inevitable tenerlo, son productos de la combustión sin importar el combustible que se esté utilizando, es necesario retirarlo cuando se haga mantenimiento general a la caldera. El efecto negativo que tienen todos estos problemas se ve reflejado en las siguientes gráficas.

Figura 12.

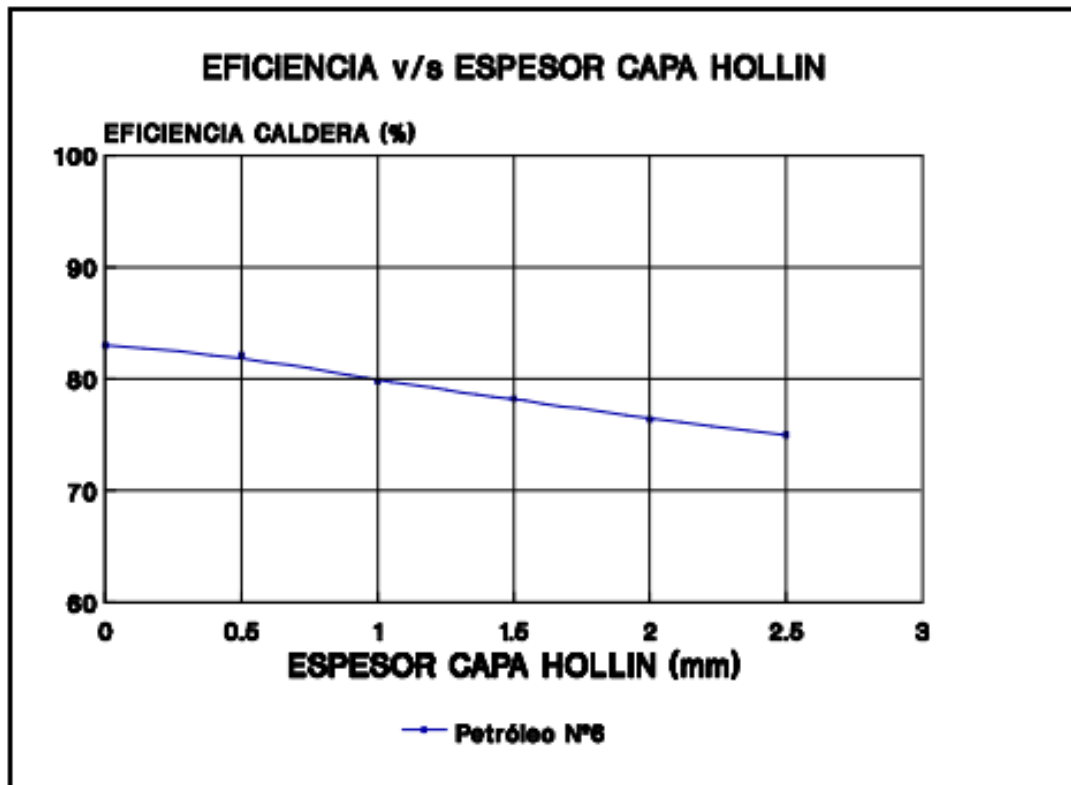
Eficiencia de la caldera con base en el espesor de la incrustación



Nota. Comportamiento de la eficiencia de una caldera pirotubular en base al espesor de incrustaciones interna. Adaptado de Thermal Engineering Ltda (2022). *Análisis de la eficiencia en calderas*. (https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos), consultado el 13 de Julio de 2023. De dominio público.

Figura 13.

Eficiencia de la caldera con base en el espesor de la capa de hollín



Nota. Comportamiento de la eficiencia de una caldera pirotubular en base al espesor de la capa de hollín en milímetros. Adaptado de Thermal Engineering Ltda (2022). Análisis de la eficiencia en calderas. (https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos), consultado el 13 de Julio de 2023. De dominio público.

2.4.4. La purga y la pérdida de calor que genera

Para muchos profesionales la purga de una caldera es el parámetro que le da vida a la caldera y mantiene la buena calidad del vapor. Se puede definir a la purga como el proceso de evacuación de agua caliente que contiene un alto índice de impurezas, por medio de un pequeño chorro de agua

concentrada en el interior de las calderas, esto con el fin de evacuar parte de los sólidos suspendidos que genera la operación de la máquina

Sin embargo, en cada purga realizada se pierde calor, por lo que es recomendable realizar purgas cortas e intermitentes para evitar la pérdida de calor y agua ya tratada que se encuentra dentro de la caldera.

2.4.5. Aire de combustión

El aire necesario para la combustión proviene del medio ambiente por lo general, aunque hay calderas que hacen uso de aire generado por compresores, lo recomendable es que la caldera trabaje con el sistema que trae implementado, que por lo general viene con su propio compresor y ventilador.

Un aire de combustión con mayor temperatura aumenta la eficiencia de la combustión, debido a que a mayor temperatura la combustión es mejor, y a menor temperatura la combustión sucede, pero no es tan eficiente. Por ello muchas calderas cuentan con economizadores, que hacen uso de los gases de combustión para calentar parámetros de las calderas, entre ellos, el aire de combustión. Al incrementar el aire a 250 °C es posible lograr un aumento en la eficiencia de hasta 15 %.

El aire de combustión es un parámetro que para su correcta modulación es necesario observar el proceso, no puede determinarse de manera teórica. Es necesario ver el color de la llama que con una buena combustión es de color amarillo y de movimiento tranquilo; mientras que con una combustión pobre suele ser más rojiza y turbulenta. También pueden monitorearse los gases de combustión y el humo que sale de la chimenea.

Figura 14.

Analizador de gases de combustión



Nota. Datos tomados de una caldera de quinientos hp. Elaboración propia

2.5. Componentes de seguridad

Toda caldera debe tener componentes que aseguren la seguridad del personal y de la misma caldera, estos por lo general no varía entre los diferentes tipos de calderas pirotubulares.

2.5.1. Válvula de seguridad o alivio

Toda caldera deberá tener una o varias válvulas de seguridad que permitan el vaciado de vapor excesivo que estas puedan tener; se acoplan por seguridad de la caldera y del personal. Una caldera bien monitoreada nunca explotará, pero no se debe descuidar ni dejar sola ya que un simple error, puede llevarla a sobrecargarse.

Cada válvula debe calibrarse en orden de seguridad, es decir, la principal debe calibrarse 10 o 15 % por encima de la capacidad de producción total de vapor de la caldera; por ejemplo, una caldera de 100 BHP que puede llegar a producir 3,450 libras de vapor por hora, deberá tener una válvula calibrada a para 3,795 libras de vapor por hora. La siguiente válvula deberá estar 3 % arriba de la primera.

2.5.2. Fotocelda

La fotocelda permite el monitoreo interno de la caldera, permitiendo verificar si existe llama o no; se dan casos en los que la caldera genera carbón dentro y este permanece encendido, la fotocelda manda una señal al control y no permite que la caldera se encienda por seguridad. Así mismo en el caso de los ciclos de descanso de la caldera, si permanece alguna llama encendida durante estos, apagará automáticamente la caldera.

Figura 15.

Fotocelda



Nota. Fotocelda utilizada en caldera pirotubular de quinientos hp. Elaboración propia

2.5.3. Control de presión de seguridad

Este sistema de control lo integran cinco aparatos de seguridad que monitorean la caldera, estos son:

- El control límite de operación: detiene el proceso del quemador cuando dentro de la caldera se tiene la presión de trabajo requerida y cuando la presión baja, nuevamente enciende el quemador; así es como funcionan los ciclos de descanso, cuando la caldera en su interior ya alcanzó la presión requerida, la caldera entra en un estado de descanso hasta que la presión baje y se necesite evaporar agua nuevamente.
- Control de presión proporcional: este dispositivo de control basado en un potenciómetro variable es el que regula la cantidad de aire y combustible que se inyecta a la mezcla.
- Control límite de presión de vapor: controla la presión de vapor que se tiene en la caldera; funciona a través de un cambio de presión con un acoplamiento mecánico hace accionar un interruptor, manteniendo la presión dentro del límite establecido.
- Control de límite para fuego bajo y alto: es programado en una escala principal de 25 o 30 psi para el encendido de la caldera. En cambio, el de fuego alto, se programa a una presión 20 a 15 % menor de la presión de trabajo, para que se coloque a fuego bajo nuevamente.

2.5.4. Control auxiliar de bajo nivel de agua

Toda caldera debe poseer un control que indique al quemador cuando parar por un nivel bajo de agua. Generalmente poseen visores de tubo hechos de vidrio de vena roja para un monitoreo visual del nivel de agua; son los antes mencionados visores o indicadores de nivel de agua. Se acopla a través de un tubo a la parte superior de la caldera, en la cámara de vapor; y en la parte

inferior de la caldera, en la cámara de agua; para equilibrar las presiones y obtener un correcto nivel de agua.

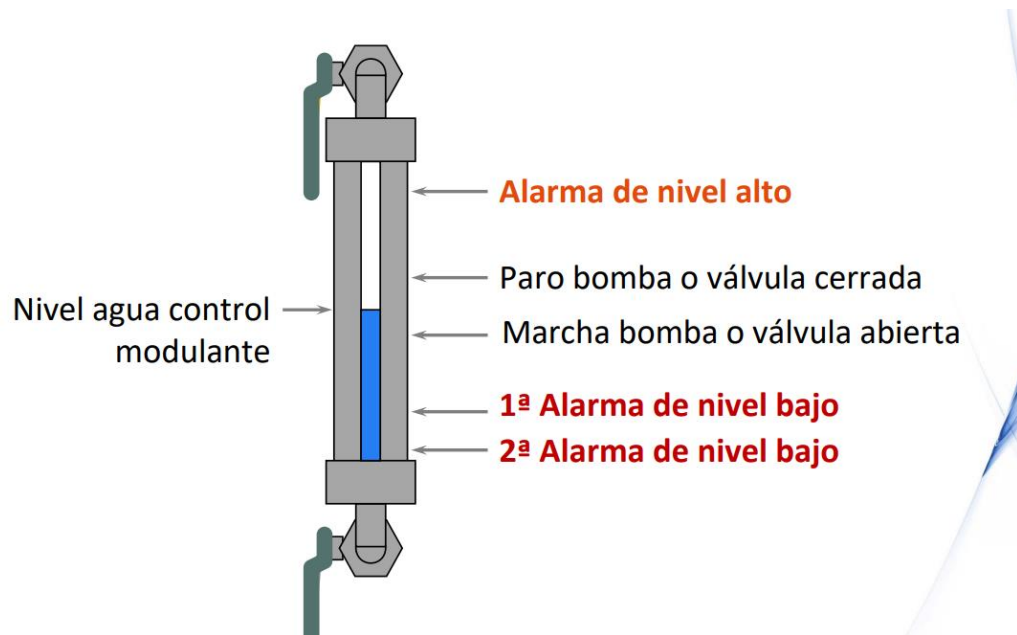
2.5.5. Tipos de alarmas

Al momento de monitorear los niveles de agua, existen cinco tipos de alarma:

- Alarma de nivel alto: se le indica a la bomba de alimentación que detenga el llenado puesto que la caldera ya está lo suficientemente llena como para recibir más agua.
- Alarma de alimentación de la bomba: esta alarma le indica a la bomba que la caldera se está quedando sin agua por lo que enciende y alimenta la caldera con agua tratada.
- Alarma de paro de bomba: en este nivel la caldera puede trabajar con la suficiente agua, así que detiene la bomba para no sobrepasarse
- Alarma de nivel bajo: es el primer nivel de seguridad, aquí la caldera debe apagarse por falta de agua, de no ser así los tubos podrían quedar expuestos.
- Segunda alarma de nivel bajo: esta alarma salta cuando se pasó el límite inferior de nivel de agua, y apaga automáticamente la caldera para evitar daño en los tubos de fuego, ya que se activa cuando el nivel de agua es tan bajo que están descubiertos los tubos, generando expansiones debido al gran calor que estos poseen.

Figura 16.

Alarmas de nivel de agua



Nota. Control de nivel de agua con los diferentes rangos de seguridad establecidos. Adaptado de Spirax Sarco (2019). *Sistemas de control de calderas*. (https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos), consultado el 13 de julio de 2023. De dominio público.

2.6. Componentes de operación

Son los que modulan el proceso completo de la caldera de manera externa, para una buena y ordenada operación.

2.6.1. Control primario de llama

Maneja de manera automática los ciclos de la caldera, es decir, pone en marcha el quemador cuando la caldera necesite presión y cuando la caldera

llegó a la presión necesaria, apaga el quemador. Es necesario que se encuentre correctamente programado para detenerse a la presión correcta y encender cuando se le pida.

2.6.2. Control de nivel de agua

Mantienen un correcto nivel de operación y seguridad, es común ver que se dañen seguido debido a que mantiene presiones internas, existen casos en los que han explotado por no ser del material correcto, ya que estos deben aguantar el calor y la presión.

2.6.3. Control solenoides o electroválvulas

Permiten el cierre o el paso de fluidos o gases a una temperatura indicada, el combustible suele calentarse antes de entrar a la caldera para que su combustión será la correcta.

2.6.4. Interruptor de presión de aire

Verifican que el ventilador y el compresor funcionen correctamente, si uno de ellos falla la caldera no enciende.

2.6.5. Termostatos

Los termostatos de calderas regulan el funcionamiento de la caldera cuando se busca cierta temperatura. Son externos a la caldera debido a que en muchos casos las calderas pirotubulares son utilizadas para calefacción, y viene incluido con ellas, un termostato programable que regula la temperatura ambiente según el día y el clima.

Por otro lado, existen los interruptores térmicos, que controlan la operación de las resistencias o solenoides al momento de calentar el combustible.

2.7. Control programador

El control programador es el que todas las señales al quemador, es decir, las secuencias de operación desde el arranque hasta el paro; así como a los diferentes dispositivos de operación en la caldera, posee los siguientes elementos:

- Relé máster: es el que recibe la energía inicial para la primera secuencia.
- Relé de flama: va de la mano con la fotocelda que monitorea una flama eficiente y cuando existe falla, apaga el quemador transfiriéndole energía al interruptor de seguridad.
- Interruptor de seguridad de flama: al momento de ocurrir una falla de ignición y el relé de flama quede desenergizado, apaga la caldera. Cuando el interruptor de seguridad se activa es necesario esperar un tiempo de enfriamiento e investigar la falla.
- Motor cronométrico: actúa inmediatamente después de activarse el motor máster y es el que le da las señales a las levas de operación que tiene el quemador.

2.7.1. Tablero de control

El tablero de control es donde se encuentran todas las funciones del control programador, en él se puede ajustar la manera de trabajar de la caldera, fuego alto, medio y bajo, así como colocarla en modo manual o automático. Hoy en día existen tableros de control digitales pero los más comunes son de botones.

Figura 17.

Tablero de control



Nota. Tablero de control de caldera pirotubular en funcionamiento. Elaboración propia.

2.7.2. Secuencia básica del programador

- **Prepurga:** comienza la secuencia expulsando, por medio del ventilador, los gases de combustión residuales existentes en las tuberías de fuego, sacándolos por la chimenea.
- **Encendido de la llama piloto:** luego de la prepurga el transformador de ignición se energiza y la válvula de gas propano se abre para dar lugar a la llama piloto, dura alrededor de diez a veinte segundos.
- **Encendido de la llama principal:** la fotocelda detecta llama dentro de la caldera lo cual le da a entender al control que la llama piloto está correctamente encendida; luego se cierra la válvula de gas propano y el combustible fluye.
- **Postpurga:** luego de apagado el quemador por ciclo de la misma caldera, el ventilador se enciende para eliminar los gases residuales de la combustión.

2.7.3. Dispositivos que se monitorean

En el control programador se monitorean los siguientes procesos:

- **El uso del ventilador:** provee aire de combustión, aire para la pre y post purga
- **Ventilador de tiro forzado:** suministra aire a presión para la combustión de la llama piloto, para la llama principal y para la purga

- Transformador de ignición: provee la chispa de alto voltaje (10,000 voltios) para la llama piloto
- Motor del compresor: para generar el aire de atomización
- Motor de la bomba de combustible: alimenta a la caldera con combustible proveniente del tanque
- Calentador eléctrico: precalienta el combustible a una temperatura elevada, entre 90 y 100°C, para una buena combustión
- Motor modulador: controla la compuerta de aire del difusor y la válvula de combustible para mantener una buena relación aire-combustible

2.8. Parámetros que interfieren en el buen funcionamiento de la caldera

Al momento de realizar el análisis a una caldera pirotubular, es de vital importancia tomar en cuenta muchos aspectos que a simple vista no se pueden ver o medir; por lo general estos parámetros se miden con ayuda de instrumentos.

2.8.1. Dureza

Es inevitable encontrar minerales como el calcio y el magnesio en la composición del agua proveniente de pozos, por lo que si no se trata adecuadamente en los suavizadores puede llegar a generar incrustaciones en las calderas.

La dureza es uno de los parámetros que se monitorean constantemente, alrededor de unas ocho veces por jornada; podrían ser más idealmente. Para su monitoreo existen diversos equipos que nos permiten analizar el agua de alimentación y agua de caldera

Figura 18.

Analizador del agua



Nota. Analizador electrónico principal del agua de calderas en funcionamiento. Elaboración propia.

El sistema más común para analizar la dureza del agua, suelen ser químicos en forma líquida y en polvo que, junto con una muestra del agua de alimentación o caldera, varían el color del agua indicándonos su dureza, lo normal es verlo de un color azul cuando su dureza es cero, y morado cuando tiene dureza. Aunque también es posible encontrar analizadores de agua modernos, que no solo dan dureza, si no otros parámetros necesarios para un buen monitoreo de la caldera.

Figura 19.

Muestra del agua de alimentación



Nota. Muestra sometida a tratamiento químico que muestra dureza cero. Elaboración propia.

2.8.2. Conductividad

La conductividad es un parámetro que nos indica la cantidad de sólidos disueltos que se encuentran en el interior de la caldera, esto debido a que la alcalinidad y acidez que estos tienen afectan a la conductividad del agua, es necesario neutralizarlos haciendo purgas periódicas.

2.8.3. Sólidos totales disueltos en el agua

Cuando el agua es evaporada suelta los minerales que no se pudieron eliminar por completo en el proceso de tratamiento, la incrustación siempre estará presente, pero se debe tratar de mantenerla en la menor cantidad posible. El agua contiene calcio, sulfato de calcio, sílice, sulfato de magnesio, entre otros minerales. Por lo que, si la caldera presenta alta conductividad, es necesario eliminarlos con las purgas. Es imposible eliminarlos todos ya que para hacerlo se tendría que vaciar por completo la caldera y limpiarla por dentro, lo cual serían pérdidas y al breve tiempo de comenzar el proceso de nuevo, los sólidos se generan igualmente.

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE UNA PLANTA DE VAPOR

3.1. Selección de una caldera pirotubular

Una planta de vapor correctamente seleccionada debe llegar a cubrir las necesidades de una empresa siempre y cuando esta esté diseñada para entregar al sistema la cantidad de vapor necesaria y más.

Por ello es necesario el correcto dimensionamiento de una caldera pirotubular a la hora de diseñar la planta o a la hora de necesitar un cambio.

3.1.1. Cálculo de la capacidad necesaria de la caldera

Con el paso del tiempo si la empresa llega a crecer y adquirir más líneas de procesos, la caldera puede llegar a perder eficiencia hasta llegar a un punto de presentar problemas en su funcionamiento, como un aumento en el calor exterior, salpicadura de combustible en los visores y el problema más molesto que puede llegar a presentarse en una planta, los arrastres.

El correcto dimensionamiento de una caldera pirotubular permite que esta pueda entregarle al sistema la cantidad necesaria de vapor requerida en ciclos de baja y de alta producción. Estos ciclos son diseñados por el área de producción los cuales, en base a estadísticas, plantean fechas en las cuales la planta tiene una producción alta y fechas en las cuales la planta tendrá una producción baja; como ya se mencionaba la caldera debe satisfacer ambos ciclos, permitiéndole a la misma tener ciclos de descanso por lo que en varios casos se hace uso de dos calderas por planta.

Para encontrar la capacidad necesaria de una caldera es necesario obtener los siguientes datos:

- Número líneas que se tendrán y las cuales harán uso del vapor
- Cantidad de vapor que los procesos necesitan en ciclos de alta producción y baja producción
- Dimensión del cuarto donde se tiene pensado tener las calderas

El tamaño de las calderas viene en proporción a la capacidad que están tengan, es decir a mayor capacidad, mayor tamaño tendrá por lo que hay que tener en cuenta el área donde esta se colocará, dejando un correcto ambiente laborar para las personas que operaran las calderas. Estos cálculos se ven a detalles en la unidad dos del curso de plantas de vapor, en el inciso de cálculos varios.

3.1.2. Diseño de los accesorios

Uno de los accesorios más utilizados y mayor cotizados en calderas, son los visores, ya que estos suelen romperse por mala instalación o con el paso del tiempo. Estos accesorios comúnmente son hechos de vidrio de borosilicato ya que este tipo de material tiene una alta resistencia térmica y química, lo cual le permite los cambios bruscos de temperatura y proporciona una buena claridad óptica. Este accesorio normalmente suele venir indicado por el fabricante de la caldera, debido a que tiene las medidas ya establecidas.

Otro accesorio o sistema complementario a una caldera, es el economizador, este sistema recupera el calor residual de los gases de escape

y lo usa para precalentar el agua de alimentación que se dirige hacia la caldera, mejorando su eficiencia. El diseño de un economizador depende mucho de la potencia que la caldera tenga, pero los pasos suelen ser por lo general los siguientes:

- Paso 1. Recopilación de datos
 - Características de la caldera
 - Temperatura y presión de operación
 - Tipo de combustible utilizado
 - Tipo y cantidad de tubos de la caldera
 - Parámetros de diseño
 - Temperatura de los gases de escape
 - Temperatura de entrada de agua de alimentación
 - Eficiencia de la caldera
- Paso 2. Selección de Tipo de Economizador
 - Hay variedad de tipos de economizadores, como los de tubos aletados, de placas y de serpentín. La elección depende de factores como la temperatura de los gases de escape y el espacio disponible.

- Paso 3. Cálculos de Eficiencia
 - Determinar la eficiencia térmica actual de la caldera y la cantidad máxima de calor que se puede recuperar así mismo como el cálculo de temperatura del agua de salida.
 - En base a lo anterior se puede determinar la temperatura deseada del agua de salida del economizador ya que esta no debe sobre pasar la temperatura de ebullición para que no existan daños en la tubería.
- Paso 4. Diseño
 - Elegir materiales resistentes a la corrosión y al desgaste, como acero inoxidable o aleaciones resistentes al calor
- Paso 5. Intercambiador de Calor
 - Se debe seleccionar el tipo de intercambiador de calor (tubos, aletas, entre otros) para asegurar una distribución uniforme de los gases de escape sobre la superficie del economizador.
 - Ubicación: determinar la ubicación óptima del economizador en el sistema de escape de gases
- Paso 6. Integración con la Caldera
 - Sistema de Control: integrar un sistema de control que optimice la operación del economizador

- Conexiones: asegurarse de que las conexiones entre la caldera y el economizador sean adecuadas y cumplan con los códigos y estándares locales.
- Paso 7. Análisis de Costos y Beneficios
 - Costos: se debe estimar los costos de instalación del economizador y comparar con los ahorros estimados en combustible para determinar el período de retorno de la inversión.
 - Mantenimiento: es importante considerar los requisitos de mantenimiento y limpieza del economizador
 - Con el diseño de un buen economizador se puede pasar al diseño del sistema de control, los existen sencillos, solo para el encendido, apagado y cambio de modo en las calderas, pero vale la pena la inversión en un sistema de control digital que permita el monitoreo y control de todas las partes que conforman el sistema, ya sea las bombas, los modos de la caldera (Modo para baja y alta producción) y el arranque y paro de esta.

3.1.3. Combustible recomendado según proceso

La selección del combustible para una caldera pirotubular depende de varios factores, no existe un combustible mejor que sea universal. La elección adecuada depende de la disponibilidad local, el costo, la eficiencia, las emisiones ambientales y las necesidades específicas de la aplicación. Los combustibles más usados para las calderas pirotubulares son:

- Gas Natural
 - Ventajas: es limpio, con emisiones bajas de óxidos de azufre y partículas. Suele ser más eficiente y menos costoso en comparación con algunos otros combustibles.
 - Aplicaciones: es muy utilizado en sistemas de calefacción y procesos industriales
- Diesel
 - Ventajas: mucho contenido energético, fácil de almacenar y transportar
 - Aplicaciones: común en aplicaciones industriales y sistemas de respaldo
- Fuel Oil
 - Ventajas: variedades como el Fuel Oil #2 y #6 se utilizan en la industria. El #6 es más denso y se utiliza en aplicaciones de calefacción y generación de energía.
 - Aplicaciones: industriales y de generación de energía
- Carbón
 - Ventajas: existe en abundancia y es económico

- Desventajas: genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero y otros contaminantes
- Aplicaciones: ha sido utilizado en la generación de energía y en la industria, pero su uso ha disminuido debido a preocupaciones ambientales.
- Biomasa
 - Ventajas: se le considera una fuente de energía renovable, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Puede incluir madera, residuos agrícolas, pellets, entre otros.
 - Aplicaciones: en sistemas de calefacción y algunas aplicaciones industriales

3.2. Diseño del tanque de condensado

El correcto diseño del tanque debe permitir el almacenamiento de todo el condensado que sale de todas las líneas y mismo tiempo permitir al condensado tener acceso nuevamente al ciclo. Por lo general suelen seguirse los siguientes pasos.

- Paso 1. Recopilación de datos
 - Requisitos del sistema: determina la capacidad de condensado que se espera en el sistema y las propiedades del agua condensada, se debe considerar la temperatura y la presión del

agua condensada para determinar su volumen y las propiedades físicas.

- Ciclo operativo de la caldera: analizar el ciclo operativo de la caldera para entender las fluctuaciones en la producción de condensado esto en los ciclos de alta y baja producción.
- Paso 2. Selección del Material
 - Buena resistencia a la corrosión: se debe seleccionar un material resistente a la corrosión ya que el agua que retorna condensada puede tener características corrosivas.
 - Aislamiento Térmico: tomar en cuenta un material con propiedades de aislamiento térmico para disminuir las pérdidas de calor.
- Paso 3. Dimensionamiento
 - Capacidad del tanque: se debe calcular la capacidad del tanque de condensado en función del volumen esperado de agua condensada y los ciclos operativos de la caldera.
 - Dimensiones: determinar las dimensiones del tanque, considerando aspectos prácticos como el espacio disponible y la accesibilidad para el mantenimiento.

- Paso 4. Diseño del tanque
 - Diseño de la estructura: diseñar una estructura robusta y segura para el tanque, considerando las cargas de agua y los posibles mantenimientos.
 - Sistema de drenaje: incorpora un sistema de drenaje efectivo para eliminar el agua condensada del tanque cuando se requiera
- Paso 5. Entradas y salidas
 - Entrada de condensado: diseñar la entrada del condensado de manera que minimice la turbulencia y la pérdida de carga, esto debido a que la tubería puede dañarse en las vueltas bruscas.
 - Salida del tanque: incorporar una salida eficiente para facilitar la evacuación del condensado hacia el sistema o hacia el drenaje
- Paso 6. Sistemas de control y monitoreo
 - Nivel de agua: se debe instalar un sistema de medición de nivel de agua para monitorear el contenido del tanque
 - Válvulas de control: acoplar válvulas de control para mantener niveles óptimos y permitir la evacuación controlada del condensado.

- Paso 7. Aislamiento térmico
 - Revestimiento aislante: aplicar un revestimiento aislante alrededor del tanque para minimizar las pérdidas de calor, esto puede hacerse también en las paredes cercanas al tanque, y debe colocarse a una altura mayor a la de la caldera.

3.3. Selección del sistema de agua

Un correcto sistema debe permitir la circulación del agua por el tratamiento de agua seleccionado y luego, el eficiente ingreso de la misma a la caldera.

3.3.1. Diseño de la bomba de agua

Las bombas de alimentación deben vencer la presión de operación que generan las calderas pirotubulares. Deben ser robustas y ser capaces de soportar temperaturas elevadas, así mismo los empaques deben soportar también estas temperaturas y los químicos que puede llevar debido al tratamiento al que se sometió con anterioridad. Por lo general las bombas que se usan para alimentación suelen ser de tipo centrifugas y de turbina regenerativa.

El diseño de la bomba depende de la presión de operación y de la capacidad de evaporación que tiene la caldera. La capacidad de evaporación puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$CE = 0.069GPM * BHP$$

Suponiendo que se tiene una caldera de 200bhp, se obtiene:

$$CE = 0.069\text{GPM} * 200$$

$$CE = 13.8\text{GPM}$$

Una vez calculado la capacidad de evaporación, se puede obtener el caudal requerido mediante la siguiente ecuación:

$$Q = (CE * \text{Factor de encendido}) / GE$$

Donde el factor de encendido suele ser:

- 1.5 – 2 para bombas de turbina
- 1.1 – 1.15 para bombas centrifugas
- 2 para operación intermitente
- 1.5 para operación continua

Con la gravedad especifica del agua, siendo uno, se obtiene para una caldera de 200BHP pensando en seleccionar una bomba centrifuga:

$$Q = (13.8\text{GPM} * 1.15) / 1$$

$$Q = 15.87$$

Es decir que la bomba debe ser capaz de suministrar ese caudal y vencer la presión de operación de la caldera. Es importante que la bomba trabaje a 1.5 veces la presión de operación.

3.3.2. Sistema de tratamiento de agua recomendado

El sistema de tratamiento de agua para calderas pirotubulares son importantes para prevenir problemas como la formación de incrustaciones, la corrosión y la acumulación de lodos. Estos problemas pueden afectar el rendimiento de la caldera, su eficiencia y su vida útil. Es importante mencionar que no todos los tratamientos son adecuados para todas las empresas, ya que las empresas de alimentos no suelen usar químicos en el tratamiento debido a los efectos que estos puedan tener en el producto.

- Suavizadores del agua: reducen de la dureza del agua mediante la eliminación de iones de calcio y magnesio, son los más comunes en empresas de alimentos.
- Desmineralización: eliminan las sales disueltas, incluyendo iones de calcio, magnesio y otros minerales que podrían causar problemas
- Ósmosis inversa: se basa en la filtración del agua para eliminar impurezas, sólidos disueltos y partículas, mejorando así la calidad del agua de alimentación.
- Tratamiento químico: hace uso de productos químicos como inhibidores de corrosión, dispersantes y antiespumantes para controlar la corrosión, la formación de incrustaciones y la acumulación de lodos.
- Desaireación: elimina del oxígeno disuelto en el agua, ya que la presencia de oxígeno puede contribuir a la corrosión en la caldera

3.3.3. Sistema continuo de llenado de agua

El sistema continuo de llenado de agua en calderas pirotubulares se basa en mantener un nivel de agua constante y adecuado en la caldera. Este sistema se encarga de suministrar agua de manera automática para compensar las pérdidas debidas a la generación de vapor.

Su funcionamiento es el siguiente:

- Sensor de nivel de agua: el sistema añade un sensor de nivel de agua que monitorea constantemente el nivel de agua en la caldera. Este sensor puede ser de tipo eléctrico, magnético u otro tipo, dependiendo del diseño específico de la caldera.
- Control automático: el sensor de nivel de agua está conectado a un control automático que regula el suministro de agua al interior de la caldera. Cuando el nivel de agua cae por debajo de lo establecido, el sistema de llenado automático se activa para añadir más agua.
- Válvula de llenado automático: esta válvula se abre automáticamente cuando se requiere agua a, permitiendo que el agua fluya hacia la caldera hasta que se alcance el nivel adecuado.

3.4. Selección de los accesorios de seguridad

Por lo general las calderas pirotubulares ya vienen con estos accesorios al momento de adquirirse, pero si por algún problema, uno de estos llegara a fallar, se debe consultarse el manual de la caldera, ya que en él se estipula el

tipo de accesorio, su marca y capacidad; con todo esto solamente se debe contactar al fabricante y solicitarle un repuesto.

4. OPERACIÓN DE UNA CALDERA PIROTUBULAR

4.1. Encendido general

El encendido de una caldera pirotubular es bastante sencillo si se tiene un control programador sofisticado en el cual el encendido venga de manera automática, como el de la Figura 17. Por lo general el protocolo de encendido de cualquier caldera pirotubular suele ser el siguiente:

- Verificar que la válvula principal de salida de vapor de la caldera, purga y alimentación de vapor al inyector se encuentren cerradas
- Verificar que el modo de alimentación de agua se encuentre en mando manual
- Abrir la válvula de alimentación a la bomba agua del tanque diario
- Abrir válvula que bloquea el agua hacia la caldera
- Poner en marcha la bomba de alimentación. Esta deberá estar encendida hasta obtener un nivel normal de agua ya establecido por el fabricante.
- Verificar que exista presión en el manómetro colocado en el circuito de alimentación de agua
- Purgar la columna de nivel abriendo grifos

- Si el nivel de agua se encuentra superior al establecido, no se pone en marcha la bomba de agua, en su lugar se abren las válvulas de purga de fondo de la caldera hasta alcanzar el nivel normal.
- Se abre la válvula de entrada de combustible
- Para el encendido de este, se activa el interruptor de conexión quemador y dará así comienzo el ciclo de encendido. El mismo estará en condiciones de operar siempre y cuando tengamos nivel de agua normal y presión de vapor inferior a la máxima.

El ciclo de encendido del quemador comprende:

- Encendido del motor eléctrico del quemador
- Verificación de la presencia de aire para combustión para calderas a gas
- Generación de arco eléctrico en electrodos de encendido
- Alimentación de solenoide de combustible
- Detección de llama

Este se conoce como encendido piloto y no es necesariamente el encendido principal, si la caldera no logra llegar a la presión establecida, esta entrará en falla y se deberá presionar el botón de RESET que se encuentra en el control, para volver a iniciar, es bastante común que la caldera no encienda

a la primera debido a que el agua dentro de la misma no está lo suficientemente caliente como para generar la presión establecida.

4.2. Regulación de la combustión según necesidad

Previamente se habló de dos modos que la planta puede tener, ciclo de producción alta y ciclo de producción baja, en ambos el combustible suministrado a la caldera es diferente ya que para una producción baja la caldera no necesita generar tanto vapor y tendrá momentos en los que el quemador se apagara de manera automática debido a que la caldera llegó a su capacidad máxima y se pondrá en espera a que la planta solicite más vapor, a partir de acá el control automático realizará el encendido cuando la caldera deba generar vapor nuevamente.

La caldera tiene dos modos, llama alta y baja respectivamente para cada ciclo, y estos ya cuentan con regulaciones de combustible establecidas en los que, a ciclos altos, el suministro de combustible es mayor que en el ciclo bajo, estos modos se cambian en el tablero de control dependiendo el itinerario que tenga la empresa.

4.3. Cantidad de purga

Por lo general los operarios de las calderas suelen purgar hasta que la bomba de alimentación se enciende, indicando que el nivel bajó lo suficiente como para solicitarle agua al sistema; esto lo suelen hacer siempre y cuando tengan una forma de ver que la caldera está solicitando agua, para muchos casos este método consiste en dejar purgar y fijarse en el tablero de control donde se muestra cuando la bomba está encendida y apagada.

Otro método de purga es la purga automática, este consiste en la instalación de un controlador de conductividad y un sensor en el cual el controlador cada cierto tiempo monitorea la conductividad que el agua interna tiene para decidir así si se purga o no, la conductividad que el agua debe tener depende mucho de los estándares que se hayan fijado, ya que una empresa de alimentos debe manejar ciertos estándares diferentes al resto.

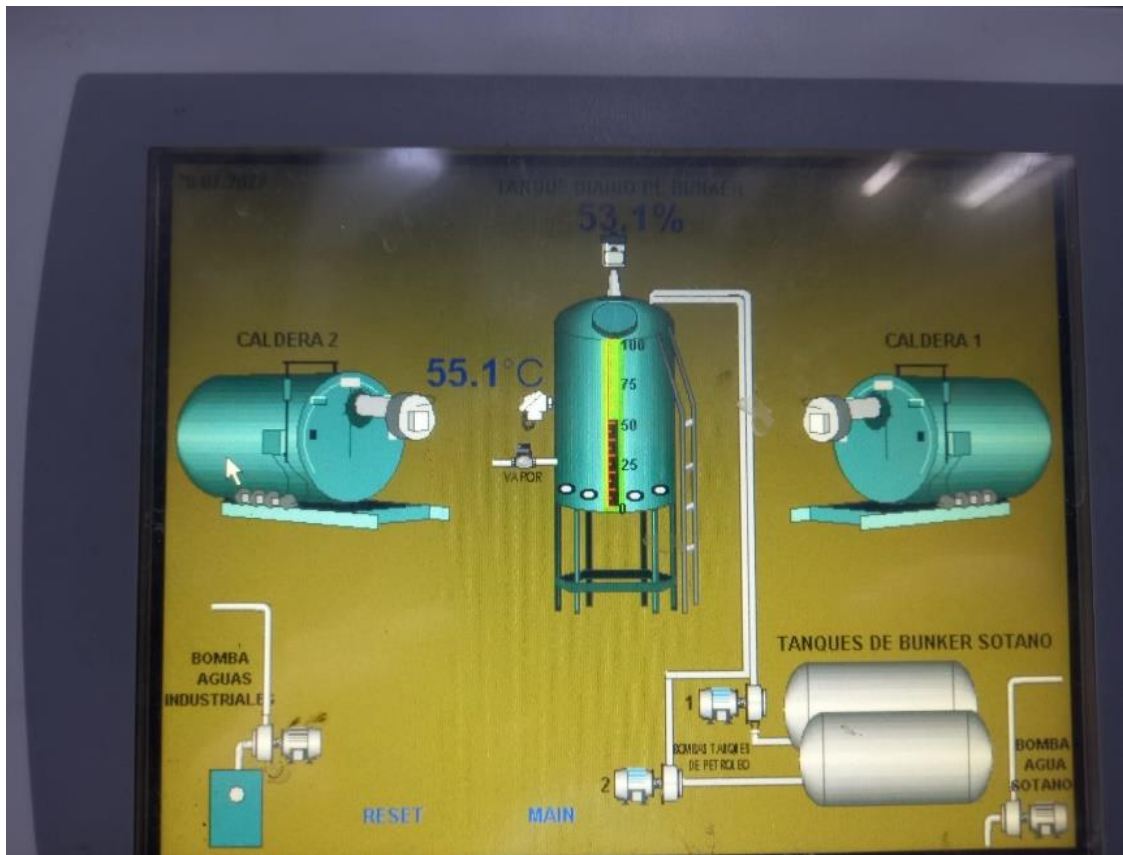
4.4. Monitoreo del nivel actual de combustible en los tanques

Actualmente el monitorear el nivel actual de combustible suele ser una tarea bastante sencilla ya que este viene indicado en el tablero de control. Lo ideal es mantener tres tanques para el combustible, dos tanques donde se encuentre almacenado a temperatura ambiente y un tanque de uso diario donde el combustible es precalentado para un mejoramiento en la eficiencia.

El nivel de combustible del tanque diario suele verse en el tablero, pero el de los tanques de almacenamiento no, este debe medirse con varillas de metal que se sumergen por un orificio especial en los tanques, al momento de retirar la varilla esta presenta combustible en su superficie el cual se debe medir con un instrumento, dependiendo de la altura de combustible medida en la varilla, así será el volumen total; es como medir el nivel de aceite en un vehículo.

Figura 20.

Nivel de combustible en tanque principal



Nota. Control programador mostrando el nivel de combustible del tanque diario. Elaboración propia.

4.5. Monitoreo de los parámetros que interfieren en el buen funcionamiento de la caldera

En el día a día de un operario, es necesario llevar el control de ciertos parámetros que nos indican si la caldera está en un correcto funcionamiento, estos parámetros por lo general se anotan en una bitácora que el supervisor debe controlar y analizar al final de la jornada.

Estos parámetros por lo general son:

- Presión del vapor: se verifica la presión del vapor para asegurarse de que esté dentro de los límites seguros y de que cumpla con los requisitos del proceso.
- Temperatura del vapor: este parámetro suele afectar directamente a muchos procesos industriales. Se mide tanto en la salida de la caldera como en puntos específicos dentro del sistema.
- Nivel de agua: mantener un nivel de agua adecuado en la caldera es esencial para evitar problemas como la falta de agua o el desbordamiento, que pueden causar daños importantes.
- Consumo de combustible: este parámetro suele medirse al inicio de la jornada laboral, para obtener una media de cuanto combustible se consume y tener siempre lleno el tanque.
- Eficiencia de combustión: suele hacerse uso de aparatos especiales para la medición, todo esto para asegurarse de que se esté utilizando

el combustible de manera eficiente y la mezcla aire combustible sea la correcta.

- Presión de gas: en caso de que la caldera utilice gas como combustible, se controla la presión del gas para garantizar un suministro adecuado y no haya alteración en la llama.
- Temperatura de los gases de escape: se mide la temperatura de los gases de escape para evaluar la eficiencia de la transferencia de calor y para evitar temperaturas excesivamente altas que puedan dañar el equipo.
- Color de los gases de combustión: es un parámetro visual que puede verse con facilidad en la salida de la chimenea, por lo general este debe ser inapreciable a la vista, de ser negro puede ser un exceso en el combustible y blanco, es un exceso en el aire.
- Vibraciones y ruidos anormales: la detección de vibraciones o ruidos inusuales puede indicar problemas mecánicos o de otro tipo que requieren atención.
- Control de llama: se supervisa la estabilidad y la calidad de la llama para garantizar una combustión segura y eficiente

4.6. Apagado de la caldera

El apagado de la caldera viene dado en tablero de control, ya que suele estar programado ahí para que un simple botón, detenga el funcionamiento de esta. Es importante que esto se tenga planeado de manera que al apagarse

una caldera exista una segunda que esté en funcionamiento para tomar el lugar de la primera y evitar paros en la producción.

4.7. Presurización de la caldera

La presurización de una caldera es un proceso realizado para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Se refiere al mantenimiento de una presión adecuada dentro de la caldera para facilitar la generación y distribución de vapor. Los pasos por seguir son los siguientes:

- Verificar de la presión inicial: antes de iniciar el proceso de presurización, es necesario verificar la presión inicial de la caldera
- Revisar que la caldera tenga agua: la caldera debe estar llena de agua antes de intentar presurizarla
- Verificación de las válvulas de seguridad: antes de presurizar, asegúrate de que las válvulas de seguridad estén en buen estado y funcionando correctamente.
- Encendido del sistema de combustión: si la caldera utiliza un sistema de combustión, se enciende el quemador
- Control de la temperatura del agua y vapor: ajusta y controla la temperatura del agua y del vapor de acuerdo con los requisitos de tu aplicación específica.

- Ajuste de la presión de vapor: ajusta gradualmente la presión de vapor dentro de la caldera hasta alcanzar el nivel deseado. Esto se puede hacer utilizando controles específicos en el tablero de control.
- Monitoreo continuo: durante todo el proceso, es crucial monitorear continuamente la presión, la temperatura y otros parámetros clave para asegurarse de que estén dentro de los límites seguros.
- Ajuste de controles automáticos: en muchas calderas modernas, los controles automáticos pueden ayudar a mantener la presión y otros parámetros dentro de los rangos predefinidos.

5. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE VAPOR

5.1. Limpieza del área

Una buena planta de vapor no solo es aquella que cumple los requisitos de producción de vapor; es importante que los operarios mantengan una correcta higiene y orden en su área de trabajo, ya que, al momento de necesitar moverse con urgencia, puede volverse complicado en un área desordenada. También puede ocasionar conflicto con otras áreas en especial el área de seguridad industrial que tienen a cargo un correcto enfoque de seguridad y orden en la empresa, y al no tener el área limpia se puede llegar a tener problemas con los supervisores.

5.2. Revisión periódica de las fugas

Las fugas están presentes en todas las plantas, no hay excepción, son una fuente enorme de pérdidas de energía dentro de sistema y pueden llegar a provocar accidentes o daños a los trabajadores, las fugas alrededor de las calderas suelen notarse con facilidad debido al sonido que estas provocan y al ser fugas de combustible el manchado es innegable; pero las fugas que se dan en las tuberías que llevan el vapor a las máquinas es más complicado detectarlas, para ello es mejor usar un aparato detector de fugas, que gracias a una cámara que estos tienen, puede detectarse con facilidad la fuga.

Figura 21.

Aparato detector de fugas



Nota. Demostración del funcionamiento de un aparato detector de fugas. Elaboración propia.

5.3. Revisión del sistema de seguridad de la caldera

La revisión del sistema de seguridad de una caldera pirotubular es esencial para garantizar un funcionamiento seguro y evitar accidentes catastróficos en la empresa. Por lo general se debería dar una inspección visual diaria a todos los sistemas de seguridad y las pruebas cada cierto tiempo que la caldera tenga días de descanso; los elementos que se suelen revisar en estas inspecciones son:

- Válvulas de seguridad: se verifica que las válvulas de seguridad estén correctamente instaladas con su sello puesto supervisando de que no haya fugas alrededor de las válvulas. Las pruebas de funcionamiento se realizan cada cierto tiempo, según lo indique el fabricante; asegurarse de que se abran y cierren correctamente.
- Controles de presión: revisar y calibrar los controles de presión para garantizar el correcto funcionamiento. Verificar la precisión de los manómetros y otros instrumentos de medición.
- Interruptores de presión: asegurarse de que los interruptores de presión estén en un buen estado y realizar pruebas para verificar que se activen correctamente cuando la presión alcanza los niveles establecidos.
- Sistema de purga: inspeccionar y limpiar el sistema de purga para asegurarte de que esté libre de obstrucciones, así como las válvulas que permiten realizar la purga, ya que estas se dañan con el paso del tiempo por el uso.
- Sistema de control y apagado: verificar que el sistema de control y apagado pueda detener la operación de la caldera en caso de una condición de emergencia.
- Realizar inspecciones visuales: deben ser periódicas para buscar signos de desgaste, corrosión o daño en componentes clave del sistema de seguridad.
- Pruebas de seguridad: realizar pruebas de seguridad, como la prueba de cortar el combustible y la prueba de liberación de presión, para

asegurarte de que todos los sistemas de seguridad operen correctamente.

- Documentación y registros: esta es la parte más importante, ya que acá se lleva un control detallado del funcionamiento y fallos que tiene la caldera para así poder llegar a un punto óptimo en el que la caldera no falle y trabaje eficientemente. Aquí deben ir todas las inspecciones, pruebas y mantenimientos realizados. Esto es crucial para el cumplimiento de normativas y para tener un historial que respalde la seguridad de la caldera.

5.4. Regeneración de los sistemas de tratamiento de agua

Los sistemas de tratamiento de agua por lo general tienen un modo de regeneración automático en el que hace uso del tanque de salmuera; este sistema de regeneración limpia el interior del regenerador permitiéndole tener una vida útil más larga, estos tanques tienen un calendario interno el cual el fabricante modifica para hacer que el aparato solicite mantenimiento cuando llegue a dos estados:

- El tiempo desde la última regeneración llegó al plazo establecido en el calendario interior
- El regenerador ha tratado una cierta cantidad de litros de agua, establecida por el fabricante

La forma de realizar la regeneración es bastante sencilla y varía según el modelo, pero por lo general suele tener un botón de mantenimiento.

5.5. Mantenimiento del quemador

El mantenimiento que se realiza al quemador debe hacerse mientras la caldera se encuentra fuera de servicio ya que hay que retirarlo de la misma para poder tratar todas sus partes, primero se quita el cañón y luego el quemador.

Figura 22.

Operario retirando quemador



Nota. Retiro del quemador de una caldera pirotubular de 500 hp para mantenimiento.
Elaboración propia.

Su mantenimiento se basa en la inspección visual y limpieza de la boquilla, el difusor, electrodos y superficie de combustión. Las boquillas deben limpiarse a fondo para evitar obstrucciones a la hora de la atomización del combustible.

Figura 23.

Boquilla del cañón lista para limpieza



Nota. Boquilla de quemador de una caldera pirotubular de 500 hp en thinner. Elaboración propia.

5.6. Cambio del visor de agua

El visor de agua es parte esencial de la correcta supervisión de la caldera, ya que nos muestra si el ciclo de llenado de agua se realiza correctamente, es decir, que la caldera solicite agua a un nivel establecido; estos visores por lo general suelen romperse debido a las altas horas de servicio que las calderas pirotubulares tienen, y deben remplazarse inmediatamente falle.

Figura 24.

Visor nuevo



Nota. Visor nuevo de caldera pirotubular de 500hp. Elaboración propia.

5.7. Problemas comunes en calderas pirotubulares y su posible solución

Las calderas pirotubulares suelen siempre tener problemas bastante comunes que se dan con bastante frecuencia si se descuida la supervisión de esta, aunque es fácil solucionarlos, si no se está monitoreando con frecuencia estos puntos, puede causar serios daños.

- Corrosión: la corrosión suele aparecer en los tubos cuando el agua no es tratada como se debe o uno de los suavizadores no está funcionando correctamente; este problema suele evitarse monitoreando los sólidos disueltos que hay en el agua, el pH y la electronegatividad que tiene, si estos parámetros son correctamente monitoreados y se logran mantener en el rango establecido, la caldera rara vez presentará problemas serios de corrosión.
- Mala atomización del combustible: esto suele ocasionarse por una obstrucción en la boquilla del cañón, una presión de aire de atomización muy baja o alta; suele solucionarse con el mantenimiento al cañón y la calibración de la cantidad de aire de atomización.
- Acumulación de sedimentos: suele solucionarse dando la cantidad correcta de purga que el sistema requiere, por lo general son dos purgas diarias.
- Sobrecalentamiento: esto sucede por la alta exigencia que se tiene en planta, por lo que la mejor solución suele ser mantener las dos calderas

en funcionamiento mientras la planta presenta producción alta y la caldera en cuestión no da más.

- Fugas de agua: suelen darse a la hora de mantener una caldera en espera y esta se encuentra presurizada, gotea por el lado del espejo y si esta suelta agua de manera brusca se debe a que los tubos se encuentran en mal estado.

5.8. Plan de mantenimiento interno de la caldera

El plan de mantenimiento interno de la caldera suele ser un poco problemático a la hora de planificarlo, debido a que el tiempo que se necesita es extenso, por lo que se debe coordinar con el área que hace uso del vapor generado por la caldera pirotubular para poder efectuarlo.

5.8.1. Limpieza del carbón generado

El carbón suele generarse en el hogar de las calderas pirotubulares y cerca de la boquilla del cañón, debido a la mala combustión, a una boquilla dañada o una temperatura del combustible muy baja. Esto suele traer consecuencias que si bien no son peligrosas si suelen detener el proceso de producción en planta, ya que estos problemas paran la caldera. Cuando el carbón se genera en el hogar y la caldera procede a entrar a un estado de descanso este no se apaga junto con el quemador, se mantiene encendido, esto hace que la fotocelda emita una señal al control y apaga por completo la caldera mostrando un mensaje de fallo por fuego interno. Este carbón debe limpiarse lo más pronto posible y encontrar la solución a por qué se genera.

Figura 25.

Hogar de la caldera



Nota. Limpieza del hogar de una caldera de 500hp en busca de carbón generado. Elaboración propia.

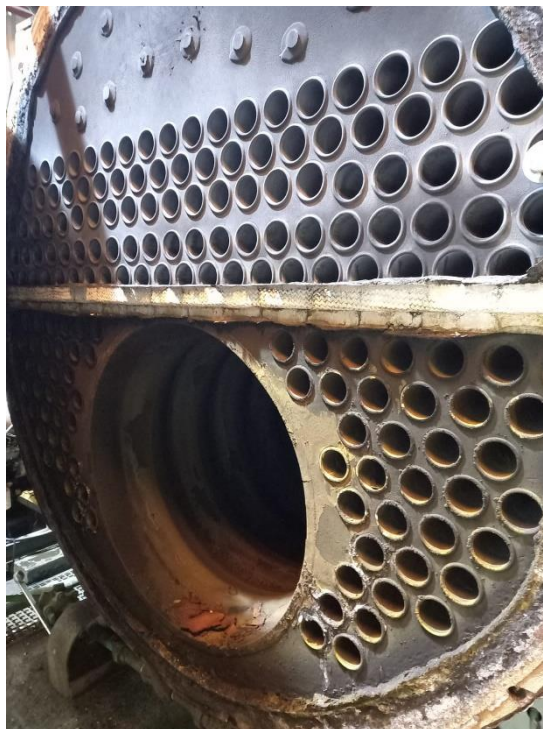
5.8.2. Estado de los tubos

La revisión de los tubos de fuego de la caldera pirotubular es el principal motivo del mantenimiento trimestral; estos deben estar sin deformaciones ni

pitting para una eficiencia mayor; los tubos suelen dañarse por varios motivos, unos ya mencionados, como el mal tratamiento del agua que provoca corrosión o incrustaciones alrededor de los tubos por el lado de agua; contaminantes en el combustible que puede generar hollín dentro de los tubos y en casos severas llegar a obstruirlos; ciclos de encendido y apagados frecuentes, que suelen ocasionar estrés térmico en los tubos generando deformaciones en los mismos y un problema que no suele verse mucho es en el remplazo de los tubos, usar un material de mala calidad no apto para las temperaturas de trabajo.

Figura 26.

Tubos de fuego de caldera pirotubular de 500hp



Nota. Caldera de 500hp abierta para mantenimiento. Elaboración propia.

5.9. Oportunidades de mejora

Siempre es importante tener en cuenta las fallas de la planta o que trabajo puede realizarse de manera más eficiente u ordenada, esto para tener una mejora no solo en la caldera si no como área de trabajo.

- Capacitación continua: el entrenamiento continuo del personal es importante ya que siempre hay algo nuevo por aprender cuando se habla de prácticas en la operación, mantenimiento o seguridad.
- Gestión de inventario y suministros: se debe mantener un inventario con las piezas que mayormente se usan, para evitar paros largos u operaciones ineficientes de la caldera.
- Gestión de datos y documentación: debe implementarse un sistema que permita la gestión y documentación eficiente de los registros de seguimiento en operaciones, mantenimientos y eventos relevantes.
- Comunicación y colaboración: es importante la buena comunicación entre las áreas de producción y mantenimiento (ya que la supervisión de la caldera por lo general pertenece al área de mantenimiento de una empresa) debido a que saber cómo estará la producción en las próximas jornadas permite anticiparse al funcionamiento de la caldera, y así mismo el área de producción debe saber con qué ciclos la caldera no aguanta el trabajo y debe disminuirse la producción para evitar arrastres o fallos en la caldera.

6. PROBLEMAS PROPUESTOS

A diferencia de los problemas comunes que una caldera pirotubular puede tener, existen problemáticas específicas que requieren de un análisis más detallado para poder darles solución, muchas veces esta se encuentra a unos pocos pasos del análisis y requiere experiencia para poder verla.

6.1. Enunciado de problemas

- Problema 1: desafío de eficiencia térmica en una caldera pirotubular de gran escala

La gerencia de una planta industrial que opera una caldera pirotubular ha observado un aumento considerable en el consumo de combustible y se tienen dudas de la eficiencia térmica del sistema. La caldera, que alimenta procesos vitales de la planta, experimenta fluctuaciones en la temperatura y, ocasionalmente, apagones no planificados. Se sospecha que la ineficiencia en la combustión podría ser la causa subyacente. Formular un plan de diagnóstico exhaustivo para identificar las causas específicas de la ineficiencia térmica, analiza los factores contribuyentes y presentar una estrategia integral para mejorar la eficiencia del sistema, asegurando una operación confiable y económica a largo plazo.

- Problema 2: salpicadura de combustible en el visor de una caldera pirotubular

La operación de una caldera pirotubular se ve afectada por un problema persistente de salpicadura de combustible en el visor, lo que genera preocupaciones sobre la seguridad y la eficiencia del sistema. Este fenómeno ha sido observado principalmente durante las fases de arranque y parada de la caldera. Formula un plan de diagnóstico detallado para identificar las causas subyacentes de la salpicadura de combustible, realiza un análisis de riesgos asociados y propone soluciones prácticas para garantizar un arranque y apagados seguros y eficientes de la caldera, minimizando al mismo tiempo la salpicadura de combustible.

- Problema 3: toma de decisiones ante una boquilla dañada

Se ha detectado una anomalía en la boquilla de una caldera pirotubular de 300BHP, la atomización del combustible es mala y presenta problemas a la hora del ensamblaje por lo que es necesario el cambio inmediato de la misma. Se decide comprar una boquilla una boquilla parecida a la original ya que el repuesto correcto tarda una semana en llegar. ¿Es la mejor opción? ¿Qué se debería hacer en este caso?

- Problema 4: caída en la eficiencia

Una planta de producción ha experimentado un descenso repentino en la eficiencia de su caldera pirotubular y no se sabe cuál es el motivo. Se le solicita al ingeniero de la planta diagnosticar el caso y proponer soluciones para restaurar la eficiencia. ¿Qué plan se debe seguir para poder dar un buen diagnóstico?

- Problema 5: reducción de emisiones ante problemática ambiental

La planta de producción de una empresa ha sido objeto de crecientes regulaciones ambientales que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La caldera pirotubular, que utiliza carbón como combustible, es una fuente significativa de emisiones. Se le solicita al ingeniero de la planta optimizar la operación de la caldera para cumplir con las regulaciones sin comprometer la eficiencia. La caldera pirotubular de la planta opera a una presión constante de 25 bar y genera vapor a una temperatura de 400 °C. El flujo de combustible (carbón) es de 2 toneladas por hora. La eficiencia actual de la caldera es del 80 %, pero las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son superiores a los límites establecidos por las regulaciones ambientales.

El ingeniero de la planta tiene la opción de cambiar a un combustible con menor contenido de carbono, pero esto podría afectar la eficiencia de la caldera. ¿Qué pasos se deben seguir para dar una solución que permita cumplir con las regulaciones ambientales sin sacrificar la eficiencia operativa?

6.2. Solución de problemas

- Problema 1: desafío de eficiencia térmica en una caldera pirotubular de gran escala

Para dar solución a este problema, es fundamental realizar una auditoría completa del sistema de combustión. Se debe iniciar con un análisis detallado de la calidad del combustible, evaluando su composición y pureza. Luego, realizar mediciones precisas de la relación aire-combustible durante diferentes condiciones de carga para identificar desviaciones de los valores óptimos. Inspeccionar visualmente el quemador y el sistema de distribución de

combustible en busca de obstrucciones, desgaste o mal funcionamiento. Además, llevar a cabo pruebas de rendimiento en los intercambiadores de calor para evaluar la eficiencia de transferencia de calor y determinar si es necesario realizar limpiezas o ajustes.

Con base en los resultados de la auditoría, se pueden implementar diversas medidas correctivas. Esto podría incluir ajustes en la configuración del quemador para optimizar la combustión, reparaciones o reemplazo de componentes defectuosos, y la implementación de un programa de mantenimiento preventivo regular. También considerar la instalación de sistemas avanzados de control automático para mantener condiciones de operación óptimas. Al abordar estos aspectos de manera integral, se espera mejorar la eficiencia térmica de la caldera, reducir el consumo de combustible y minimizar los apagones no planificados, garantizando así una operación confiable y económicamente eficiente.

- Problema 2: salpicadura de combustible en el visor de una caldera piro-tubular

Para abordar el problema de salpicadura de combustible en el visor, se debe realizar un análisis detallado de los componentes del sistema de combustible. Iniciando con la verificación de la presión y la temperatura del combustible durante el arranque y parada, identificando posibles variaciones que podrían contribuir a la salpicadura. Examinar visualmente la boquilla del quemador y las conexiones del sistema de combustible en busca de fugas o mal funcionamiento.

Una posible solución sería ajustar la configuración del quemador para reducir la presión del combustible durante las fases de arranque y parada.

Además, considerar la instalación de dispositivos de control de flujo para regular el suministro de combustible de manera más precisa. La implementación de válvulas de solenoide de cierre rápido también puede ayudar a minimizar la salpicadura al interrumpir rápidamente el flujo de combustible durante las transiciones de operación.

Es crucial realizar pruebas de funcionamiento después de implementar estas soluciones para asegurar que no solo se haya dado solución a la salpicadura de combustible, sino también que la eficiencia y seguridad general del sistema se hayan mejorado.

- Problema 3: toma de decisiones ante una boquilla dañada

Si bien la decisión de colocar una boquilla que no es la que el fabricante solicita en el sistema es errónea, ante la empresa mantener la caldera sin funcionamiento tanto tiempo significa pérdidas enormes para la misma, por lo que la decisión de colocar una boquilla similar durante una semana es la mejor opción, sin embargo al momento de recibir la boquilla correcta debe realizarse el cambio lo antes posible ya que al mantener una boquilla diferente puede ocasionar problemas en la atomización, como manchas en el visor, carbón o un aumento repentino en la estructura externa de la caldera.

- Problema 4: caída en la eficiencia

Un plan que se puede seguir para dar un buen diagnóstico puede ser el siguiente:

- Paso 1. Análisis de parámetros operativos

Examinar los parámetros operativos de la caldera, como la presión, la temperatura, el flujo de combustible, y la calidad del vapor. Identificar cualquier desviación significativa de los valores normales y evaluar cómo estos cambios podrían afectar la eficiencia.

- Paso 2. Inspección visual y pruebas en los tubos

Realizar una inspección visual de los tubos de la caldera para identificar posibles acumulaciones de depósitos, corrosión u otros problemas. Llevar a cabo pruebas no destructivas para evaluar la integridad de los tubos y determinar si hay fugas.

- Paso 3. Análisis de la combustión

Analizar el proceso de combustión, verificando la calidad del combustible, la relación aire-combustible, y la eficiencia de la combustión. Identificar cualquier problema en la cámara de combustión que pueda estar afectando la eficiencia global de la caldera.

- Paso 4. Propuesta de soluciones

Con base en los hallazgos de los pasos 1, 2 y 3, proponer soluciones para restaurar la eficiencia de la caldera. Esto puede incluir la limpieza de tubos, ajustes en la combustión, reparación o reemplazo de componentes, entre otras acciones correctivas.

- Problema 5. reducción de emisiones ante problemática ambiental

Los pasos por seguir para este tipo de problemáticas suelen ser tardados y se debe notificar a la empresa si está dispuesta a llevar a cabo estos cambios antes de realizarlos.

- Paso 1. Análisis de la eficiencia actual

Utilizar los datos proporcionados para calcular la eficiencia actual de la caldera e identificar la relación entre el flujo de combustible y las emisiones de CO₂.

- Paso 2. Evaluación de combustibles alternativos

Investigar y evaluar combustibles alternativos con menor contenido de carbono para determinar cómo estos combustibles afectarían la eficiencia de la caldera y las emisiones de CO₂.

- Paso 3. Optimización de la mezcla de combustibles

Experimentar con diferentes mezclas de combustibles para encontrar una que cumpla con las regulaciones sin afectar significativamente la eficiencia. Calcular la nueva eficiencia y las emisiones de CO₂ para la mezcla óptima.

- Paso 4. Propuesta de operación óptima

Presentar una propuesta detallada que incluya la nueva mezcla de combustibles, la eficiencia esperada, y la reducción de emisiones de CO₂. Considerar los costos asociados con el cambio de combustible y las posibles compensaciones en eficiencia.

CONCLUSIONES

1. La necesidad de un documento que permita al tener un contacto más cercano a la realidad laboral en relación con las calderas es de suma importancia para complementar el correcto desarrollo profesional, debido a que muchos estudiantes aún no han laburado y muchos otros, laburan en un área diferente a plantas de vapor.
2. El refuerzo sobre los conocimientos básicos adquiridos en el curso plantas de vapor ayuda a que el estudiante descubre diferentes versiones de un concepto y le permita comprender por completo el significado de estos; así mismo le permite adquirir conocimientos diferentes y relacionarlos entre sí.
3. Las problemáticas planteadas son de carácter profesional por lo que el estudiante puede desarrollar ideas reales de lo que en verdad se vive en el ámbito laboral; problemas los cuales operarios han enfrentado y solucionado utilizando la experiencia que poseen.
4. Para los catedráticos del curso de planta de vapor es un apoyo aceptado, el cual pueden utilizar para complementar las enseñanzas dadas a los estudiantes y reforzar a las personas que por diversos problemas que están fuera de sus manos, se ausentan al curso.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar temas relacionados a plantas de vapor suele ser un área complicada para los estudiantes desde un punto de vista teórico; el contacto laboral en esta área suele aclarar muchas dudas que se plantean durante la formación universitaria, una ayuda a entrar en contacto con esta, es la participación en prácticas finales laborales en una empresa que tenga un área de vapor.
2. Agregar visitas técnicas al contenido del curso, para reforzar el correcto entendimiento del funcionamiento de las calderas pirotubulares.
3. Desarrollar problemas con enunciados prácticos suele mejorar las habilidades profesionales que el estudiante necesita; muchos de los recién egresados suelen entrar en áreas de mantenimiento a cargo de calderas pirotubulares por lo que el análisis de estos problemas puede ser de ayuda para ellos.

REFERENCIAS

Junta de Castilla y León (2009). *Mejoras horizontales de ahorro y eficiencia energética sector industrial, energía térmica ejemplos prácticos*.
https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=10121648

APÉNDICES

Apéndice 1.

Idea de formato para medición del combustible en los tanques

REGISTRO DE NIVEL DIARIO DE COMBUSTIBLE EN TANQUE			
Nombre de empresa: _____ Turno: _____ Hora de inicio: _____ Hora de finalización: _____ Fecha: _____			
Operario	Hora	Medición en cm	Observaciones

Nota. Formato para registro de nivel diario de combustible en el tanque de una caldera pirotubular. Elaboración propia.