

DISEÑO CONCEPTUAL Y PROTOCOLO DE DESMONTAJE DE UNA PLANTA PILOTO
PARA EQUIPO DE POTENCIA ELÉCTRICA, UTILIZANDO UN CALDERÍN CON AGUA A
PRESIÓN PARA PRÁCTICAS EN LA UNIMETA

KENNY LAURENCE TORRES MONCADA

SAUL NORBERTO QUINTERO CEDANO



UNIMETA

• *Fundada en 1985* •

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
VILLAVICENCIO
NOVIEMBRE

2023

DISEÑO CONCEPTUAL Y PROTOCOLO DE DESMONTAJE DE UNA PLANTA PILOTO
PARA EQUIPO DE POTENCIA ELÉCTRICA, UTILIZANDO UN CALDERÍN CON AGUA A
PRESIÓN PARA PRÁCTICAS EN LA UNIMETA

KENNY LAURENCE TORRES MONCADA

SAUL NORBERTO QUINTERO CEDANO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingenieros Electricistas

Directores:

Doc. Cristian Julian Diaz Alvarez

Ing. Alben Melo Vega



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
VILLAVICENCIO
NOVIEMBRE
2023

NOTA DE ADVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Nota de aceptación:

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Asesor Disciplinar
Doctor Cristian Julian Diaz Alvarez

Asesor Metodológico
Ingeniero Alben Melo Vega

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE CALDERAS.....	14
A. Historia.....	16
B. Tipos de calderas y sus características:.....	18
1) Piro tubulares:.....	18
2) Acuotubulares:.....	18
3) Calderas de Vapor de Circulación Forzada (Babcock & Wilcox):.....	19
4) Calderas de Vapor de Circulación Natural (Cornish, Lancashire):.....	19
5) Accesorios que pueden ayudar a recuperación de Calor:.....	20
C. Aplicaciones industriales de las calderas.....	20
1) Generación de Energía Eléctrica:.....	20
2) Procesos Industriales de Calor:.....	21
3) Calefacción y Climatización.....	21
4) Tratamiento de Aguas Residuales:.....	21
5) Industria Petroquímica y Refinerías:.....	22
6) Industria Farmacéutica:.....	22
7) Lavanderías Industriales:.....	22
8) Industria Alimentaria:.....	22
D. Componentes de las calderas:.....	22
1) Hogar o Cámara de Combustión:.....	23
2) Generador de Vapor (Tubos de Calentamiento):.....	23
3) Tambor de Vapor:.....	23
4) Economizador:.....	23
5) Sobrecalentador:.....	24
6) Sistema de Control y Seguridad:.....	24
7) Ventilador y Sistema de Escape:.....	24
8) Sistema de Alimentación de Combustible y Agua:.....	24
D. Protocolos de encendido y operación:.....	24
E. Riesgos de operación y medidas de seguridad:.....	26
F. Mantenimiento de calderas:.....	27
G. El control del proceso.....	28
H. Metodología.....	30
1) Enfoque de la investigación.....	30
2) Intervención y análisis y Especificaciones Técnicas:.....	31
3) Diagnóstico de Partes y Plan de Traslado:.....	31
4) Propuesta de Manual de Mantenimiento:.....	31

5) Seguridad y Protocolo de Cuidados:.....	31
6) Proyección en Generación Eléctrica y Aplicaciones Académicas:.....	31
7) Tipo de investigación.....	31
8) Diseño de investigación.....	32
9) Fases de la metodología.....	32
III. DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA.....	33
A. Su Historia.....	35
B. Diseño y Especificaciones de la Caldera.....	35
C. Componentes de la caldera pirotubular UNIMETA.....	40
1) Materiales usados en la construcción de la caldera.....	41
D. Proceso de Operación:.....	42
E. Eficiencia y Rendimiento:.....	43
F. Aplicaciones y Usos Actuales:.....	43
G. Comparación con Otros Diseños:.....	44
III. DIAGNÓSTICO EQUIPO.....	46
A. Componentes y sus características.....	46
1) Quemador.....	47
2) Cámara de combustión.....	48
3) Tubos o serpentines.....	49
4) Casco o carcasa.....	50
5) Tapa delantera.....	52
6) Tapa trasera.....	53
7) Válvula de seguridad.....	54
8) Chimenea.....	56
9) Condensador.....	57
10) Manómetros.....	58
11) Dispositivos de control y regulación.....	60
a) Termostatos:.....	60
b) Interruptores de presión:.....	60
c) Válvulas de seguridad:.....	60
d) Controladores automáticos:.....	61
e) Alarmas y sistemas de advertencia:.....	61
12) Sistema de control de combustión.....	62
13) Sistema de alimentación de agua.....	64
14) Sistema de purga y drenaje.....	65
B. Innovaciones y Contribuciones de la Caldera.....	66
C. Estado Actual y Mantenimiento de la caldera.....	67
D. Especificaciones Técnicas:.....	68

1) Capacidad de Generación de Vapor:.....	68
2) Presión de Diseño:.....	71
3) Superficie de Calefacción:.....	71
4) Caudal de Agua:.....	72
5) Rendimiento del Quemador:.....	74
6) Control y Automatización:.....	74
7) Normativas y Cumplimiento:.....	74
8) Emisiones:.....	75
9) Ciclo de Agua y Tratamiento:.....	76
10) Seguridad:.....	76
11) Garantías y Mantenimiento:.....	76
12) Personal de Operación Requerido:.....	76
IV. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.....	77
V. HAZOP.....	78
A. Objetivo del HAZOP:.....	78
B. Equipo HAZOP:.....	78
C. Análisis de riesgo HAZOP:.....	79
1) Presión Inadecuada:.....	79
2) Temperatura Anormal:.....	79
3) Fugas o Pérdidas:.....	79
4) Niveles Inestables:.....	79
5) Mal Funcionamiento del Quemador:.....	79
6) Fallas en los Dispositivos de Seguridad:.....	79
7) Sobrecalentamiento:.....	79
8) Corrosión y Deterioro:.....	79
D. Identificar Consecuencias:.....	80
1) Riesgos de Seguridad:.....	80
2) Daños en Componentes:.....	80
3) Reducción de Eficiencia:.....	80
4) Interrupciones en la producción:.....	80
5) Impacto Ambiental:.....	80
6) Daños a la Estructura:.....	80
E. Evaluar Severidad:.....	81
1) Riesgos de Seguridad:.....	81
2) Daños en Componentes:.....	81
3) Reducción de Eficiencia:.....	81
4) Interrupciones en la Producción:.....	81
5) Impacto Ambiental:.....	81

7) Proponer Medidas de Mitigación:.....	81
F. Riesgos de Seguridad:.....	82
1) Daños en Componentes:.....	82
2) Reducción de Eficiencia:.....	82
3) Interrupciones en la Producción:.....	82
4) Impacto Ambiental:.....	82
5) Daños a la Estructura:.....	82
6) Documentar Resultados:.....	82
7) Revisión y Validación:.....	83
8) Implementación de Medidas Correctivas:.....	83
9) Seguimiento Continuo:.....	83
VI. MANUAL Y PROTOCOLO.....	84
A. Proceso de desmontaje.....	84
1) Pasos para el Desmontaje de la Caldera.....	84
a) Tapa Delantera y trasera.....	84
b) Sistema de combustión.....	85
c) Sistema de control y seguridad.....	85
d) Chimenea.....	85
e) Condensador.....	85
f) Caldera.....	85
g) Dispositivos de Control y Regulación.....	85
h) Sistema de Alimentación de Agua.....	86
i) Sistema de Purga y Drenaje.....	86
B. Propuesta trasladó a la nueva ubicación.....	86
1) Evaluación de Riesgos y Permisos:.....	86
a) Estudio de Riesgos:.....	86
b) Permisos Requeridos:.....	86
2) Equipos de Izaje y Logística:.....	86
a) Equipos de Izaje:.....	86
b) Planificación Logística:.....	86
Establecer un plan detallado para el traslado, incluyendo rutas, horarios, medios de transporte y coordinación con autoridades competentes.....	86
2) Recomendaciones y Mejor Ubicación:.....	87
a) Recomendaciones de Instalación:.....	87
3) Consideraciones Adicionales:.....	87
a) Coordinación Interinstitucional:.....	87
b) Capacitación y Concientización:.....	87
c) Protocolos de Emergencia:.....	87

d) Promoción y socialización:.....	87
C. Protocolo de Encendido de Caldera:.....	89
1) Preparación Previa.....	89
2) Inspección Visual.....	89
3) Desmontaje Temporal (si aplica).....	89
4) Conexión de Suministros.....	89
5) Encendido de la Caldera.....	89
6) Ajustes y Pruebas.....	89
7) Monitoreo Continuo.....	90
8) Registro de Datos.....	90
10) Capacitación y Documentación.....	90
D. Propuesta de generación electricidad aprovechando el vapor de la caldera.....	90
1) Objetivo:.....	90
2) Elementos Sistema de Generación.....	90
a) Turbina de Vapor:.....	91
b) Generador Eléctrico:.....	91
c) Sistemas de Control:.....	91
d) Sistema de Acondicionamiento de Vapor:.....	91
e) Infraestructura de Conexión:.....	91
f) Equipos de Seguridad y Mantenimiento:.....	91
3) Beneficios.....	91
a) Aprovechamiento Eficiente de Vapor:.....	91
b) Generación de Energía Limpia:.....	91
c) Eficiencia Operativa:.....	92
d) Reducción de Costos y Dependencia Externa:.....	92
e) Posibilidad de Escalabilidad:.....	92
4) Experiencia Práctica en Ingeniería:.....	92
VII. DISCUSIÓN.....	93
A. Experiencias Previas:.....	93
B. Recursos y Colaboración:.....	93
C. Innovación y Tecnología:.....	93
D. Capacitación y Desarrollo de Protocolos:.....	93
E. Adaptación a Realidades Locales:.....	94
F. Registros y Documentación:.....	94
G. Desarrollo de Protocolos Internos:.....	94
VIII. CONCLUSIONES.....	95
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
X. ANEXOS.....	102

FIGURAS

Fig.1 Placa TERMOCALD montajes industriales quien reconstruyó y.....	37
Fig. 2 Caldera Pirotubular.....	38
fig. 3 Esquema básico Caldera Pirotubular.....	38
Fig. 4 Caldera pirotubular horizontal de la empresa Colmaquinas.....	39
Fig. 5 Caldera pirotubular con sus sistemas.....	42
Fig. 6 Diagrama proceso generación de vapor en la caldera UNIMETA.....	43
Fig. 7 Diagrama y elementos que posee la caldera de la UNIMETA.....	47
Fig. 8 Quemador.....	48
Fig. 9 Cámara de combustión.....	49
Fig. 10 Tubos y serpentines.....	50
Fig. 11 Casco o carcasa.....	51
Fig. 12 Tapa delantera.....	53
Fig. 13 Tapa trasera.....	54
Fig. 14 Válvula de seguridad.....	55
Fig. 15 Chimenea.....	57
Fig. 16 Condensador.....	58
Fig. 17 Manómetro.....	59
Fig. 18 Manómetro indicador de presión de la caldera.....	59
Fig. 19 Manómetro indicador de temperatura del condensador.....	59
Fig. 20 Válvula de bajo nivel.....	61
Fig. 21 Timer analogo.....	61
Fig. 22 Control de combustión.....	63
Fig. 23 Indicadores de encendido o apagado.....	63
Fig. 24 Bomba de succión para llenado de la caldera.....	65
Fig. 25 Tanque de almacenamiento.....	65
Fig. 26 Bomba de succión para llenado de la caldera.....	66
Fig. 27 Tubería de purga.....	66
Fig. 28 Control de presión set 75 psi.....	70
Fig. 29 Consulta de entalpía del vapor.....	70
Fig. 30 Edificio centro UNIMETA escala 100 mt.....	89
Fig. 31 Edificio centro UNIMETA escala 10 mt.....	89
Fig. 32 Parque Parque Metropolitano María Lucía Ubicado en la vereda La Llanerita escala 100 mts.....	89
Fig. 33 Parque Parque Metropolitano María Lucía Ubicado en la vereda La Llanerita escala 20 mts.....	89

TABLAS

TABLA I.....	41
TABLA II.....	46
TABLA III.....	48
TABLA IV.....	50
TABLA V.....	51
TABLA VI.....	52
TABLA VII.....	53
TABLA VIII.....	55
TABLA IX.....	56
TABLA X.....	58
TABLA XI.....	59
TABLA XIII.....	60
TABLA XIV.....	62
TABLA XV.....	64
TABLA XVI.....	66
TABLA XVII.....	67
TABLA XVII.....	78

INTRODUCCIÓN

Las calderas de vapor son componentes críticos en la generación de energía térmica, desempeñando un papel fundamental en la producción de electricidad en plantas termoeléctricas y otros servicios. Sin embargo, se ha identificado falta de normatividad, así como, acceso limitado a recursos para comprender plenamente el funcionamiento, implementación de nuevas tecnologías y desmontaje de estos equipos. Este proyecto propone abordar esta carencia al diseñar un protocolo integral para el desmontaje y montaje de una caldera cuyo funcionamiento es con agua a presión, creando así un recurso valioso tanto para la formación académica como para la investigación en el campo de la ingeniería eléctrica.

Los objetivos del proyecto comprenden una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con el uso de calderas, así como la evaluación del estado actual de una caldera que se encuentra a disposición de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Corporación Universitaria del Meta. Esto se llevará a cabo mediante un diagnóstico y análisis detallado de sus partes, partiendo del despiece y la seguridad involucrada en su desmonte, llevando a la elaboración de un manual completo para el montaje de una caldera, priorizando los aspectos de seguridad en cada etapa.

Este proyecto contempla la proyección y uso futuro de una caldera para la generación eléctrica, estableciendo directrices claras sobre cómo se llevarán a cabo prácticas académicas con este equipo al ser un piloto que fomenta el desarrollo académico e investigativo en la comunidad académica de los programas de la Institución, estableciendo estrategias para grupos de estudiantes y carreras que se beneficiarán de esta herramienta, fomentando así una colaboración interdisciplinaria en la UNIMETA.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal determinar las características y requerimientos técnicos necesarios para el funcionamiento adecuado de una caldera con agua a presión, a través del análisis de la documentación técnica disponible y la revisión de las normas de seguridad aplicables a la realización de prácticas con equipos de potencia eléctrica.

Para cumplir el objetivo general se propone los siguientes objetivos específicos:

- Investigación Bibliográfica y Normativa - Realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre las características técnicas, normativas de seguridad y usos de calderas e identificar y analizar las regulaciones vigentes aplicables al funcionamiento de calderas, asegurando el cumplimiento normativo.
- Intervención y Análisis de una caldera - Realizar un diagnóstico detallado de todas las partes de una caldera para comprender su funcionamiento y estado actual, describir la forma de despiece de una caldera y evaluar su adecuación, incluyendo procesos de desmontaje y traslado si es necesario.
- Diseño de Manual de Montaje y Protocolos de Seguridad - Elaborar un manual técnico detallado para el montaje de una caldera, definiendo protocolos de seguridad y cuidado específicos para el equipo y establecer pautas claras de uso del equipo, priorizando la seguridad de los usuarios y del entorno.

- Proyección y uso generación eléctrica - Diseñar un plan de aplicación práctica de una caldera, incluyendo la generación eléctrica y las prácticas asociadas e identificar las áreas de estudio y las disciplinas académicas que se beneficiarán del uso de una caldera, definiendo quiénes podrán acceder y utilizar el equipo y cómo se coordinará su uso entre diferentes carreras.

I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE CALDERAS

Colombia es un país industrializado hace uso de diversos tipos de combustibles para el desarrollo de los procesos. Y una de las premisas que mayor impacto tiene es encontrar eficiencia del puesto que afecta directamente variables importantes, como el consumo de combustible, el control de emisiones y el costo del suministro de combustible. Estas variables pueden aumentar o disminuir según el estado tecnológico del sistema de combustión de la caldera.

Desde tiempos remotos, la humanidad ha buscado formas de aprovechar el poder del fuego para mejorar su calidad de vida. Uno de los hitos más significativos en esta búsqueda fue la invención de las calderas, ingeniosos dispositivos que han desempeñado un papel crucial en el desarrollo y progreso de la civilización. Las calderas, a lo largo de la historia, han sido utilizadas para una amplia gama de aplicaciones, desde el calentamiento de espacios y el suministro de agua caliente hasta la generación de energía industrial.

Los descubrimientos de científicos como Denis Papin, Thomas Newcomen, Joseph Black y James Watt aumentaron el conocimiento y la importancia de conceptos como el calor específico y el calor latente de evaporación.

Fue una aventura de la imaginación importante en la ciencia e ingeniería. Hay tres caminos diferentes en la historia de la ciencia para abordar el estudio del calor:

- Descubrimiento del fuego y sus propiedades
- Enfoque científico que busca modelar la realidad
- Interés de los ingenieros en producir fuerzas a partir del fuego.

Después de estudiar el calor, se estudió el funcionamiento básico de una máquina de vapor, que implica la conversión de agua en vapor y viceversa para generar trabajo útil. La máquina de vapor influyó demasiado en la revolución industrial, e igual impactó en el entendimiento de la constitución de la materia y la abolición de la esclavitud. [46]

El origen de las calderas se remonta a la antigüedad, cuando los primeros seres humanos descubrieron cómo controlar y utilizar el fuego. A lo largo de las diferentes eras históricas, las calderas evolucionaron y se perfeccionaron, adaptándose a las necesidades cambiantes de la sociedad y la tecnología. Desde las simples estructuras de piedra utilizadas por los romanos hasta las sofisticadas máquinas de vapor del siglo XVIII, las calderas han sido testigos y protagonistas de avances significativos en la industria y la ingeniería.

El sector industrial desempeña un papel fundamental en Colombia, representando más del 23% de la demanda final de energía en el país. Dentro de este sector, el uso de energía térmica es

significativo, contribuyendo con aproximadamente el 35% del consumo total. Sin embargo, es importante destacar que existen ineficiencias asociadas a la tecnología obsoleta y las prácticas operacionales inadecuadas que afectan negativamente el rendimiento de los equipos térmicos y generan consecuencias ambientales adversas, entre otros problemas [50].

Como institución universitaria, tenemos una posición privilegiada en la región para influir en el conocimiento y desarrollo de tecnologías. En este sentido, podemos contribuir de manera significativa a mejorar el uso de las calderas en diversas empresas e industrias, ofreciendo buenas prácticas y soluciones innovadoras. Para ello, tenemos conocimiento que la Corporación Universitaria del Meta desea llevar a cabo pruebas en nuestras propias instalaciones utilizando una caldera que pertenece a nuestra institución.

Antes de iniciar este proceso, es esencial conocer en detalle el tipo de caldera que poseemos, su estado actual, los componentes que la conforman y otros recursos relevantes que nos proporcionen un conocimiento integral sobre su funcionamiento. Esto nos permitirá habilitar la caldera de manera adecuada y asegurar que pueda ser utilizada por las diferentes ingenierías que ofrece la Corporación Universitaria del Meta.

Con este enfoque, buscamos no solo beneficiar a las industrias y empresas al mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental, sino también enriquecer el aprendizaje y la formación académica de nuestros estudiantes al trabajar con tecnología de vanguardia y proyectos con impacto real en el sector industrial. Juntos, podemos marcar la diferencia y contribuir al desarrollo sostenible de nuestra región.

A. Historia

En la historia y desarrollo de la tecnología, resulta fascinante conocer el origen de la utilización del vapor como fuente de energía, que se remonta al antiguo siglo I. En aquella época, el inventor y matemático griego Herón de Alejandría nos sorprendió con su creación, la eolípila, una turbina de vapor que utilizaba una caldera y una esfera hueca para generar rotación mediante el escape del vapor por dos boquillas biseladas. [56]

Un importante hito en la evolución de la tecnología de vapor fue protagonizado por el visionario escocés James Watt [11]. Durante el siglo XVIII, Watt realizó mejoras significativas en la máquina de Newcomen y desarrolló la célebre "caldera de Watt" en 1785. Esta innovación presentaba un armazón horizontal cubierto de ladrillos y canales para dirigir los gases calientes de la combustión sobre la caldera, logrando un mejor rendimiento. Además, Watt fue pionero en aprovechar las propiedades termodinámicas del vapor de agua, incorporando elementos cruciales como válvulas de seguridad de palanca, manómetros para medir la presión y grifos para controlar el flujo de agua y vapor en sus calderas.

Estos impresionantes avances en las industrias revolucionaron el uso de las calderas y permitieron su aplicación en diversos procesos de transferencia de calor. En la actualidad, el objetivo sigue siendo generar vapor mediante la combustión en los hornos, lo que ha impulsado el progreso y la eficiencia en numerosos sectores.

Las calderas son dispositivos diseñados para generar vapor a través de la transferencia de calor desde una fuente de combustión (principio de carnot) [11]. El funcionamiento básico se basa en calentar agua en una caldera, lo que produce vapor que se utiliza para diversos fines industriales. A continuación, se detalla el proceso paso a paso para comprender los conceptos en forma general:

Iniciamos con la introducción del combustible en la cámara de combustión de la caldera. Los combustibles más comunes incluyen gas natural, petróleo, carbón, biomasa y residuos industriales. Dependiendo del tipo de caldera, el combustible se quema en un horno o una cámara especialmente diseñada. La combustión libera una gran cantidad de energía en forma de calor. El calor generado durante la combustión es transferido al agua que se encuentra almacenada en el interior de la caldera. El agua puede estar en tubos o en un tanque cerrado, dependiendo del diseño de la caldera. A medida que el calor fluye a través de las paredes de los tubos o del tanque, el agua se calienta y comienza a transformarse en vapor. Con el aumento de la temperatura, el agua cambia de estado y se convierte en vapor, la presión del vapor también aumenta a medida que se calienta. Dependiendo de la aplicación y los requisitos del proceso, el vapor puede generarse a diferentes presiones y temperaturas. Las calderas de alta presión permiten obtener vapor de alta temperatura, lo que las hace ideales para aplicaciones que requieren un alto rendimiento energético [17].

Una vez generado, el vapor es dirigido hacia el punto de aplicación a través de tuberías. El vapor a alta presión y temperatura tiene una gran cantidad de energía térmica almacenada en él. Esta energía se utiliza para llevar a cabo diversas tareas, como la generación de energía mecánica a través de turbinas, calefacción de procesos industriales, esterilización, secado de materiales, entre otros.

Después de ceder su energía térmica para realizar el trabajo en el proceso industrial, el vapor se enfría y se condensa nuevamente en forma de agua. Esta agua condensada se recoge y se recicla, volviendo a ser calentada para generar más vapor. El proceso de reciclaje del agua es esencial para mejorar la eficiencia energética de la caldera y reducir el consumo de agua en la industria.

El funcionamiento de las calderas de vapor debe ser controlado y monitoreado cuidadosamente para garantizar una operación segura y eficiente. Se utilizan sistemas de control automáticos para regular el flujo de combustible y la cantidad de agua en la caldera.

Además, se implementan dispositivos de seguridad, como válvulas de alivio de presión y sistemas de detección de fugas [40], para proteger contra situaciones de sobrepresión y otros riesgos potenciales.

La producción de vapor es un proceso complejo pero crucial en la generación de energía térmica para aplicaciones industriales. El desarrollo de este proyecto tiene como propósito comprender a fondo dicho proceso, asegurando un uso seguro y eficiente de los equipos involucrados. El proyecto incluye la implementación de una planta piloto para equipos de potencia eléctrica en la facultad de ingeniería de la UNIMETA, donde los estudiantes de ingeniería utilizarán una caldera con agua a presión para realizar prácticas y aprender sobre el uso de estos equipos. Esta iniciativa proporcionará a los estudiantes una valiosa herramienta de aprendizaje en un entorno controlado, al tiempo que promoverá el avance tecnológico y la eficiencia en la generación de energía térmica industrial.

B. Tipos de calderas y sus características:

En la industria, se utilizan distintos tipos de calderas con características específicas. Como generadores de vapor, destacan las calderas de resistencia eléctrica y las de combustión. Nos enfocaremos en las calderas de combustión, que se dividen en pirotubulares, acuotubulares los cuales poseen accesorios que influyen en la eficiencia de la caldera como tubos de humo y sistemas de recuperación de calor. Cada tipo tiene ventajas y limitaciones particulares, haciéndolas más adecuadas para diferentes aplicaciones industriales.

1) Pirotubulares:

Las calderas pirotubulares son uno de los diseños más antiguos y ampliamente utilizados, se componen de tubos que contienen el agua, rodeados por gases calientes provenientes de la combustión, estos gases atraviesan los tubos, transfiriendo calor al agua y generando vapor, estas calderas son adecuadas para aplicaciones industriales y comerciales de tamaño mediano y bajo.

Sus principales características son:

- Fácil construcción y mantenimiento.
- Tiempo de calentamiento relativamente corto.
- Capacidad para soportar fluctuaciones de carga.
- Versatilidad en la variedad de combustibles utilizados.[29]

2) Acuotubulares:

A diferencia de las calderas pirotubulares, las calderas acuotubulares tienen el agua circulando por el interior de los tubos, mientras que los gases calientes rodean los tubos, estas calderas son adecuadas para aplicaciones industriales de alta capacidad y alta presión.

Sus características incluyen:

- Mayor capacidad de generación de vapor.
- Mayor eficiencia térmica debido a una mayor superficie de transferencia de calor.
- Mayor tiempo de calentamiento debido a la gran cantidad de agua contenida.
- Requieren una mayor planificación y costo en la instalación y mantenimiento.

Dentro de las calderas pirotubulares y acuotubulares existen varias variantes que vamos a nombrar a continuación:

3) Calderas de Vapor de Circulación Forzada (Babcock & Wilcox):

Este tipo de caldera es una variante de las calderas acuotubulares y se caracteriza por tener una circulación forzada del agua mediante bombas. El agua es calentada en los tubos y, debido a su menor densidad, asciende hacia la parte superior de la caldera, donde es recogida y recirculada mediante bombas.

Sus características son:

- Mayor control sobre la distribución del calor y la circulación del agua.
- Mayor capacidad y presión de trabajo.
- Adecuadas para aplicaciones industriales de gran envergadura y alta demanda de vapor.

4) Calderas de Vapor de Circulación Natural (Cornish, Lancashire):

Estas calderas se basan en el principio de circulación natural del agua. No requieren bombas, ya que la densidad del agua caliente es menor y tiende a ascender, mientras que el agua más fría descende existen diferentes variantes, como las calderas Cornish y Lancashire.

Sus características son:

- Operación más simple y menor costo de mantenimiento.
 - Capacidad y presión limitadas en comparación con las calderas de circulación forzada.
 - Adecuadas para aplicaciones de capacidad media y baja.
- 5) Accesorios que pueden ayudar a recuperación de Calor:

Estos sistemas aprovechan el calor residual de procesos industriales previos, como los gases de escape de turbinas o motores, para generar vapor. Su principal objetivo es mejorar la eficiencia energética de la planta y reducir el consumo de combustible.

Sus características son:

- Reducción de costos de combustible y emisiones de CO₂.
- Requieren procesos industriales cercanos que generen calor residual.

Cada tipo de caldera tiene sus ventajas y limitaciones, la elección del tipo de caldera dependerá de factores como la capacidad de generación requerida, la presión de trabajo, el tipo de combustible disponible, el espacio disponible para la instalación, los costos operativos y la eficiencia energética, al seleccionar la caldera más adecuada, se garantizará un funcionamiento seguro, eficiente y económico en la industria [36].

C. Aplicaciones industriales de las calderas

Las calderas tienen una amplia variedad de aplicaciones en la industria. Se utilizan para la generación de energía eléctrica, calefacción en procesos industriales, producción de vapor en sectores químicos, textiles, papel y celulosa, entre otros. Su versatilidad las convierte en un elemento esencial en múltiples sectores.

Las calderas de vapor son una parte fundamental en una amplia variedad de industrias y comercios, donde desempeñan un papel importante en procesos que requieren generación, transferencia o suministro de vapor.

A continuación, vamos a describir algunas de las aplicaciones más comunes de las calderas en el ámbito industrial y comercial en Colombia [45].

1) Generación de Energía Eléctrica:

Las calderas de vapor juegan un papel vital en la generación de energía eléctrica en plantas termoeléctricas, en estas plantas se utilizan calderas de alta capacidad y presión para calentar agua y producir vapor de alta temperatura y presión, el vapor generado mueve las turbinas conectadas a generadores eléctricos, convirtiendo la energía cinética en electricidad, las centrales eléctricas pueden funcionar con diferentes tipos de combustibles, como carbón, gas natural, petróleo o biomasa, el proyecto se enfoca en utilizar una caldera de vapor con gas natural para generar energía eléctrica, el objetivo es simular y habilitar una caldera existente en la universidad para que los estudiantes de ingeniería realicen pruebas de laboratorio y adquieran experiencia práctica. Se busca promover prácticas sostenibles en la generación de energía y fortalecer la formación académica de los estudiantes. La meta es impulsar la innovación y el desarrollo sostenible en la industria eléctrica y formar profesionales conscientes de la eficiencia energética y el uso responsable de recursos alineados a los ODS que se han propuesto a nivel mundial.

2) Procesos Industriales de Calor:

En numerosos procesos industriales, se requiere calor para llevar a cabo diversas operaciones, como secado, esterilización, pasteurización y calentamiento de líquidos, las calderas de vapor proporcionan una fuente confiable de calor en estos procesos, mejorando la eficiencia y la velocidad de producción en industrias como la alimentaria, textil, química, papelera y muchas otras. La caldera genera el calor suficiente para obtener los productos que desean ofrecer al mercado.

3) Calefacción y Climatización

Las calderas también se utilizan en sistemas de calefacción y climatización de edificios y complejos industriales, el vapor generado se utiliza para calentar agua que, a su vez, se distribuye a través de radiadores, suelos radiantes u otros dispositivos de calefacción para mantener una temperatura confortable en el entorno por medio de un sistema complejo que posee las características para mantener y distribuir el vapor generado por la caldera.

4) Tratamiento de Aguas Residuales:

En plantas de tratamiento de aguas residuales, las calderas de vapor juegan un papel importante en el proceso de digestión anaerobia, la cual ayuda a la proliferación de los mismos

por medio del calor generado por las calderas, los cuales se usan para elevar la temperatura de los digestores, donde los microorganismos descomponen los lodos y los desechos orgánicos, produciendo biogás y reduciendo la cantidad de lodos residuales.

5) Industria Petroquímica y Refinerías:

En la industria petroquímica y refinerías, las calderas de vapor se utilizan para alimentar diferentes procesos, como destilación, reformado catalítico, craqueo y coquización, entre otros. Estos procesos requieren calor y vapor para llevar a cabo las transformaciones químicas necesarias para la producción de combustibles y productos petroquímicos.

6) Industria Farmacéutica:

En la industria farmacéutica, las calderas de vapor son esenciales para la esterilización de equipos, materiales y productos, garantizando así la seguridad y calidad en la fabricación de medicamentos y productos farmacéuticos.

7) Lavanderías Industriales:

Las lavanderías industriales utilizan calderas de vapor para generar el vapor necesario para planchas, rodillos y equipos de limpieza en seco, lo que acelera los procesos de lavado y planchado de grandes volúmenes de ropa y textiles.

8) Industria Alimentaria:

En la industria alimentaria, las calderas de vapor se utilizan para la esterilización de equipos y envases, cocción y procesamiento de alimentos, y en la producción de productos lácteos, panadería, entre otros.

Estas son solo algunas de las muchas aplicaciones industriales de las calderas de vapor, su versatilidad, eficiencia y capacidad para proporcionar un suministro confiable de vapor las convierten en una tecnología indispensable en la mayoría de los sectores industriales, con un buen manejo de la caldera podemos decir que la operación es segura y eficiente garantizando la calidad de los productos, la seguridad de los trabajadores y el respeto por el medio ambiente [34].

D. Componentes de las calderas:

Las calderas están compuestas por diversos elementos esenciales para su funcionamiento seguro y eficiente. Estos incluyen el quemador, el economizador, el tambor de vapor, los tubos de intercambio de calor y los sistemas de control y seguridad.

Los principales componentes de una caldera son la cámara de combustión, el intercambiador de calor y el sistema de control, son equipos complejos que constan de varios componentes interconectados, cada componente tiene una función específica en el proceso de generación de vapor. Vamos a mostrar , se describen los principales componentes de una caldera típica:

1) Hogar o Cámara de Combustión:

El hogar es el lugar donde se produce la combustión del combustible. Puede tener diferentes diseños, como hogares de tubos de fuego o hogares de tubos de agua. En el hogar, se inyecta el combustible, que puede ser carbón, petróleo, gas natural, biomasa u otros, y se mezcla con el aire necesario para la combustión. La energía liberada durante la combustión calienta los tubos del generador de vapor.

2) Generador de Vapor (Tubos de Calentamiento):

El generador de vapor, también conocido como el banco de tubos, está compuesto por una serie de tubos dispuestos en el hogar o la cámara de combustión. Los tubos se calientan debido al calor generado por la combustión del combustible. El agua que circula a través de estos tubos se convierte en vapor saturado o sobrecalentado, dependiendo del tipo de caldera y la aplicación.

3) Tambor de Vapor:

El tambor de vapor, también conocido como tambor de agua, es un tanque grande donde se recoge y almacena el vapor generado en el generador de vapor. Desde el tambor, el vapor se distribuye a las diferentes líneas y equipos que requieren suministro de vapor. Además, el tambor de vapor ayuda a separar el agua del vapor para asegurar que solo se transporte vapor a los puntos de uso.

4) Economizador:

El economizador es un intercambiador de calor que precalienta el agua de alimentación antes de que ingrese al generador de vapor. Aprovecha el calor residual de los gases de escape, lo que mejora la eficiencia del sistema al reducir la cantidad de calor desperdiciado. Al precalentar el agua, se requiere menos energía para alcanzar la temperatura de vaporización.

5) Sobrecalentador:

El sobrecalentador es otro intercambiador de calor ubicado después del generador de vapor. Su función es calentar aún más el vapor saturado generado en el generador, llevándolo a un estado de vapor sobrecalentado. El vapor sobrecalentado tiene una mayor cantidad de energía y se utiliza en procesos que requieren temperaturas más altas.

6) Sistema de Control y Seguridad:

El sistema de control y seguridad es esencial para el funcionamiento seguro y eficiente de las calderas. Incluye diferentes dispositivos y sistemas, como controladores de temperatura, presión y nivel, sistemas de alarma, válvulas de seguridad y apagado automático en caso de condiciones inseguras. Estos sistemas garantizan que la caldera funcione dentro de los parámetros de operación seguros y eviten situaciones peligrosas, como sobrepresión o falta de agua.

7) Ventilador y Sistema de Escape:

El ventilador se encarga de suministrar aire al hogar para la combustión, asegurando una mezcla adecuada de combustible y aire. Por otro lado, el sistema de escape, como las chimeneas o conductos del humo, se encarga de liberar los gases de combustión y el aire caliente generado hacia el exterior.

8) Sistema de Alimentación de Combustible y Agua:

Este sistema suministra combustible y agua a la caldera de manera controlada. El combustible se almacena en un tanque y se transporta mediante bombas o sistemas de gravedad al hogar. Asimismo, el agua de alimentación se trata para eliminar impurezas y se bombea a la caldera, donde se convierte en vapor.

Cabe mencionar que los componentes pueden variar según el tipo de caldera y su aplicación específica. La correcta operación y mantenimiento de cada componente son fundamentales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la caldera de vapor en las diferentes industrias.

D. Protocolos de encendido y operación:

El encendido adecuado de una caldera es crucial para su funcionamiento seguro, se deben seguir protocolos específicos para evitar riesgos y garantizar la eficiencia en el proceso, además, la operación continua de una caldera debe llevarse a cabo siguiendo buenas prácticas operativas y protocolos de seguridad establecidos.

Los protocolos de encendido y operación de las calderas son procedimientos estandarizados y críticos para asegurar un arranque seguro y eficiente, así como el funcionamiento adecuado durante toda su operación, estos protocolos son desarrollados por fabricantes, ingenieros y expertos en seguridad, y deben seguirse rigurosamente para prevenir accidentes, minimizar riesgos y optimizar el rendimiento de la caldera. Uno de nuestros objetivos es crear protocolo de encendidos y operación para que los estudiantes de ingeniería tenga el conocimiento y el paso a paso que deben seguir a cabalidad, a continuación, se describen los pasos generales de los protocolos de encendido y operación:

Antes de encender la caldera, se realiza una inspección minuciosa para verificar que todos los componentes estén en buen estado y que no existan fugas, obstrucciones o daños, se debe comprobar que las válvulas de seguridad, los dispositivos de control y los sistemas de alarma funcionen correctamente, en caso de no haya suficiente agua en el tambor de vapor y de que la caldera esté purgada de aire se debe estabilizar según recomendaciones del fabricante asegurando los rangos establecidos.

El encendido de la caldera es un proceso controlado que debe realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante, se abre la válvula de suministro de combustible y se enciende la llama piloto. Luego, se activa el quemador principal y se ajusta la mezcla de combustible y aire para lograr una combustión eficiente, debemos considerar que la caldera tiene sus especificaciones y es fundamental seguir los tiempos y secuencias indicados por el fabricante para evitar situaciones peligrosas, en nuestro proyecto no contamos con recomendaciones del fabricante ya que la caldera se compró con el edificio y no ha estado en funcionamiento desde hace mucho tiempo, por este motivo debemos realizar varios procesos de inspección antes de hacer cualquier instructivo.

Si la caldera enciende, se debe esperar a que alcance una temperatura y presión estable, durante este proceso, se realizan ajustes en los sistemas de control para mantener los parámetros de operación dentro de los rangos seguros y eficientes, el operador de la caldera debe monitorear constantemente los indicadores de temperatura, presión, nivel de agua y otros parámetros críticos.

Durante la operación el sistema se debe inspeccionar con frecuencia aunque cuente con un sistema de control ya que puede ser necesario agregar combustible al hogar y agua al tambor de vapor para mantener la producción de vapor requerida, estos procesos deben realizarse cuidadosamente y de manera controlada para evitar cambios bruscos en la presión o la temperatura, lo que podría afectar la estabilidad de la caldera.

Cuando la caldera no sea necesaria para cualquier proceso o debe detenerse para mantenimiento, se sigue un procedimiento específico para apagarla de manera segura, apagando el quemador, esto permite que la caldera se enfríe gradualmente. Antes de la parada, se cierra la válvula de suministro de combustible y se agota el agua del tambor de vapor, recordemos que el apagado adecuado es esencial para evitar daños a la caldera y garantizar la seguridad del personal.

Durante el funcionamiento de la caldera, se debe tener un sistema de registro donde se anoten todos los datos relevantes, como la presión, la temperatura, el consumo de combustible y las operaciones realizadas, esta información es valiosa para el seguimiento del rendimiento de la caldera, la identificación de problemas potenciales y la planificación del mantenimiento.

E. Riesgos de operación y medidas de seguridad:

Estar en la presencia de una caldera en producción conlleva ciertos riesgos, como explosiones, fugas de vapor o problemas de combustión, es esencial implementar medidas de seguridad adecuadas, como válvulas de alivio de presión, sistemas de control y monitoreo, y capacitación para el personal encargado de operar las calderas, lo cual garantiza la vida humana, la infraestructura y los equipos en el área, a continuación vamos a hablar sobre riesgos de operación en forma general:

Uno de los riesgos más críticos en la operación de calderas es la posibilidad de una explosión debido a una acumulación excesiva de presión, para evitar esto, las calderas deben estar equipadas con válvulas de seguridad que liberan automáticamente el exceso de presión, si los niveles exceden los límites seguros, estas válvulas se activarán y se mitigará el riesgo, por esto se deben inspeccionarse y probarse regularmente para garantizar su correcto funcionamiento.

El uso de combustibles en las calderas puede llevar a situaciones de incendio, es importante contar con sistemas de detección de incendios y extinción, como rociadores y extintores, cerca de la caldera y en áreas adyacentes, asimismo, se debe mantener una buena limpieza y orden en el área de operación para evitar la acumulación de materiales inflamables. También se puede presentar el sobrecalentamiento del metal de la caldera debilitando su

estructura y causando fallas catastróficas, donde no hay un retorno, por este motivo se deben implementar sistemas de control y monitoreo para evitar el sobrecalentamiento y para mantener la caldera dentro de los límites de temperatura seguros.

La corrosión es otro problema común en las calderas que puede afectar su integridad y eficiencia, debemos monitorear los indicadores de resultados de la caldera para mitigar este riesgo, se deben utilizar materiales resistentes a la corrosión en las partes críticas de la caldera y realizar inspecciones periódicas para detectar y abordar cualquier corrosión presente, una de estas consecuencias son las fugas de gas o vapor que pueden poner en peligro la salud del personal y causar accidentes, por esto se debe realizar inspecciones regulares en las conexiones de las tuberías, exterior de la caldera y válvulas para asegurar que no haya fugas y que todas las conexiones estén bien selladas.

Uno de los temas más complejos es la combustión incompleta de los combustibles porque pueden producir monóxido de carbono (CO), un gas altamente tóxico, se debe evitar el riesgo de asfixia y envenenamiento a toda costa ubicando las calderas en áreas bien ventiladas y equipadas con detectores de CO. Por supuesto debemos contar con sistemas de escape y ventilación estén en buen estado de funcionamiento.

Un elemento crítico para mitigar los riesgos de operación es garantizar que el personal que opera y mantiene las calderas esté debidamente capacitado, se deben ofrecer cursos de formación en seguridad y procedimientos operativos seguros, y el personal debe conocer los riesgos asociados con la caldera y cómo manejar situaciones de emergencia, por esto se debe contar con planes de emergencia bien definidos, en esencial para responder adecuadamente a situaciones de riesgo, el personal debe estar familiarizado con estos planes y realizar simulacros periódicos para estar preparado ante cualquier contingencia, pasar de la teoría a la práctica es muy importante.

La implementación de todas estas medidas de seguridad y la adhesión estricta a los protocolos de operación y mantenimiento son fundamentales para garantizar una operación segura y eficiente de las calderas industriales, sin añadir que se debe cumplir con las regulaciones y normativas aplicables en materia de seguridad industrial y protección ambiental.

F. Mantenimiento de calderas:

El mantenimiento adecuado de las calderas es esencial para garantizar su funcionamiento seguro, eficiente y confiable a lo largo del tiempo. Un programa de mantenimiento bien planificado ayuda a prevenir fallas inesperadas, prolonga la vida útil de la caldera y minimiza los riesgos operativos. A continuación, se describen algunas consideraciones importantes para el mantenimiento de calderas:

Se deben llevar a cabo inspecciones periódicas de las calderas para detectar cualquier signo de desgaste, corrosión o daño en sus componentes, estas inspecciones pueden ser visuales o utilizar técnicas de prueba no destructivas para evaluar la integridad de la estructura, la acumulación de sedimentos y depósitos de incrustaciones en el interior de la caldera puede reducir la eficiencia y conducir a problemas de sobrecalentamiento, es importante limpiar periódicamente la caldera y desincrustar los tubos y superficies de transferencia de calor para mantener un rendimiento óptimo.

Al realizar un análisis de combustión periódicos ayuda a garantizar que la caldera esté quemando el combustible de manera eficiente y con una combustión completa, Un ajuste adecuado del quemador y el control de los niveles de oxígeno y CO₂ en los gases de escape pueden mejorar la eficiencia y reducir las emisiones, podemos detectar componentes desgastados o dañados durante las inspecciones, es esencial reemplazarlos de inmediato, esto incluye válvulas, juntas, tubos y otros elementos críticos para el funcionamiento seguro de la caldera.

Todos los sistemas de seguridad de la caldera, como las válvulas de seguridad y los controles de presión, deben inspeccionarse y probarse regularmente para asegurar su correcto funcionamiento, estos dispositivos son vitales para proteger la caldera y el personal en caso de un aumento inesperado de la presión, es fundamental llevar un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento realizadas en la caldera, esto incluye fechas de inspección, limpiezas, reemplazos de componentes y cualquier trabajo de reparación, un registro adecuado facilita el seguimiento del historial de mantenimiento y ayuda a programar las actividades futuras.

El mantenimiento preventivo, realizado de manera programada y regular, es más eficiente y rentable que el mantenimiento correctivo, que se realiza después de una falla, los operadores deben ser proactivos en el mantenimiento para ayudar evitar paradas no planificadas y reducir los costos asociados con reparaciones de emergencia.

Los estudiantes y profesores que realicen el mantenimiento deben recibir capacitación adecuada para realizar las tareas de forma segura y eficiente, además deben estar actualizados sobre las últimas técnicas y tecnologías de mantenimiento para garantizar que se apliquen las mejores prácticas.

El mantenimiento de calderas es una responsabilidad continua que requiere dedicación y planificación adecuada, al mantener una caldera en óptimas condiciones, se garantiza un rendimiento confiable, una mayor eficiencia y una operación segura, lo que contribuye al éxito y la sostenibilidad de las operaciones industriales.

G. El control del proceso

El control de procesos en el uso de calderas es fundamental para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y confiable, un sistema de control adecuado permite monitorear y regular diferentes parámetros y variables relacionadas con la operación de la caldera, vamos a informar en forma general los controles que posee una caldera:

El control preciso de la temperatura y la presión es esencial para mantener un rendimiento óptimo de la caldera y evitar daños a la misma, se utilizan sensores y actuadores para monitorear y ajustar continuamente estos parámetros en función de las demandas de calor y vapor. El control de la combustión es crucial para asegurar que el proceso de quema del combustible sea eficiente y seguro, los sistemas modernos utilizan sensores para medir la cantidad de oxígeno y CO₂ en los gases de escape, lo que permite ajustar la mezcla de aire y combustible para obtener una combustión óptima.

Mantener un nivel adecuado de agua en la caldera es esencial para evitar problemas de sobrecalentamiento y asegurar una operación segura, los sistemas de control de nivel de agua utilizan sensores para detectar el nivel de agua y activar las válvulas de alimentación de agua cuando es necesario, el control preciso de la cantidad de combustible y aire suministrados a la caldera es esencial para mantener una combustión eficiente, los sistemas de control regulan la cantidad de combustible y aire en función de la carga de la caldera y las condiciones de operación, mantener el equilibrio entre los sistemas internos de la caldera es la forma correcta de asegurar que será lo más eficiente posible

El control de las emisiones es importante para cumplir con las regulaciones ambientales y reducir el impacto ambiental, los sistemas modernos de calderas incluyen dispositivos para controlar y minimizar las emisiones de gases contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂), en nuestro caso, la caldera que está dispuesta por la universidad es muy antigua y no cuenta con un proceso de control de emisión de gases contaminantes, en el desarrollo vamos a realizar varias recomendaciones que se deben tener en cuenta para la operación como prototipo en los laboratorios de la Universidad.

El control de seguridad de la caldera incluye sistemas de protección que se activan automáticamente en caso de condiciones anormales, como un aumento repentino de la presión o una disminución del nivel de agua, estos sistemas de protección, como las válvulas de seguridad, están diseñados para prevenir situaciones peligrosas. Las calderas modernas utilizan sistemas de automatización y control digital para mejorar la eficiencia y la precisión del control de procesos, dichos sistemas permiten una supervisión y ajuste más precisos de los parámetros de operación, lo que conduce a un funcionamiento más eficiente y seguro.

En algunas industrias, las calderas están integradas con sistemas de gestión de energía o sistemas de control centralizados, esto permite coordinar el funcionamiento de múltiples calderas y optimizar la producción de vapor de manera más eficiente, también cuentan con alta tecnología de monitoreo remoto y telemetría que permite supervisar el rendimiento de la caldera en tiempo real desde una ubicación remota, esto facilita la detección temprana de posibles problemas y la toma de decisiones informadas para el mantenimiento y la optimización del rendimiento, protegiendo a sus colaboradores.

El control de procesos en el uso de calderas es esencial para maximizar la eficiencia, minimizar los riesgos operativos y cumplir con las regulaciones, la implementación de sistemas de control avanzados y la integración de tecnologías modernas pueden mejorar significativamente el rendimiento y la confiabilidad de las calderas en las aplicaciones industriales.

Después de ver información general sobre las calderas y lo que conlleva tener un sistema de estos en operación vamos a mostrar la caldera o le podemos llamar calderín por su tamaño, ese calderín está en propiedad de la Universidad y uno de los objetivos a futuro es disponer de este equipo para pruebas en la facultad de ingeniería.

H. Metodología

1) Enfoque de la investigación

El presente proyecto se enfocará en una serie de etapas interrelacionadas para el análisis, diagnóstico, propuesta de mantenimiento, seguridad y proyección de aplicación de una caldera como parte integral de un sistema de generación eléctrica en el laboratorio de ingeniería de la Universidad. Estas etapas se detallan a continuación:

2) Intervención y análisis y Especificaciones Técnicas:

Realización de un estudio detallado de la planta piloto mediante intervención y análisis para registrar exhaustivamente sus características y especificaciones técnicas. Se dará especial atención al cumplimiento de las normativas y leyes pertinentes que regulan este tipo de instalaciones.

3) Diagnóstico de Partes y Plan de Traslado:

Intervención de una caldera para examinar y desglosar sus sistemas, evaluando el estado de cada componente. Se desarrollará un plan detallado de traslado y desmontaje para reubicar una caldera en el laboratorio universitario.

4) Propuesta de Manual de Mantenimiento:

Creación de un manual exhaustivo que detalla los procedimientos de montaje y desmontaje específicos para la planta piloto de una caldera. Este manual será crucial para llevar a cabo el mantenimiento adecuado del equipo una vez trasladado al laboratorio universitario.

5) Seguridad y Protocolo de Cuidados:

Evaluación exhaustiva de los riesgos potenciales tanto para el equipo como para el entorno laboral. Se identificarán los peligros y se establecerán medidas preventivas precisas para mitigar dichos riesgos, culminando en la formulación de un protocolo integral de seguridad.

6) Proyección en Generación Eléctrica y Aplicaciones Académicas:

Un plan estratégico que incluya la incorporación de una caldera como parte esencial de un sistema de generación eléctrica en el laboratorio universitario. Se identificarán las disciplinas académicas que se verán beneficiadas por el uso de una caldera, destacando sus potenciales aplicaciones y contribuciones en diferentes áreas de estudio.

7) Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación se enmarca en un enfoque mixto que integra elementos de investigación cuantitativa y cualitativa. La metodología cuantitativa se aplicará en la etapa de ingeniería inversa, diagnóstico de partes y proyección de generación eléctrica, permitiendo la recolección y análisis de datos técnicos y numéricos sobre las especificaciones de una caldera, su estado y su potencial como generador eléctrico. Por otro lado, la metodología cualitativa será empleada en la propuesta de mantenimiento y seguridad del equipo, involucrando la evaluación de riesgos y la identificación de medidas preventivas a través de la comprensión detallada de experiencias y percepciones de expertos en el campo. Esta combinación de enfoques

permitirá una aproximación integral al estudio, aprovechando las fortalezas de cada método para abordar los distintos aspectos del proyecto

8) Diseño de investigación

El diseño de investigación propuesto para este proyecto combina elementos de estudio de caso y análisis exploratorio. Se llevará a cabo un estudio detallado de la planta piloto de una caldera, utilizando la metodología de estudio de caso para realizar la intervención y análisis y el diagnóstico de partes. Este enfoque permitirá una comprensión profunda de las características técnicas de una caldera y el estado de sus componentes, considerando las normativas y leyes aplicables en su operación.

Además, se empleará un análisis exploratorio durante la propuesta de mantenimiento, seguridad del equipo y proyección en generación eléctrica. Esto implicará la exploración de diversas fuentes de información, desde manuales técnicos, libros, páginas web, etc. Este diseño permitirá no solo el análisis detallado de la estructura y funcionamiento de una caldera, sino también la exploración de posibles aplicaciones y consideraciones de seguridad relevantes para su traslado y uso en el laboratorio universitario.

La combinación de un estudio de caso detallado con un análisis exploratorio permitirá abordar los objetivos específicos del proyecto desde múltiples perspectivas, asegurando una comprensión completa y una propuesta integral para el manejo, mantenimiento y aplicación de una caldera en el entorno universitario. Este diseño de investigación abarca las distintas etapas del proyecto y resalta cómo se utilizarán enfoques específicos para cada una de las partes involucradas en el estudio de una caldera y su traslado al laboratorio universitario.

9) Fases de la metodología

La metodología para documentar el funcionamiento adecuado de la planta piloto de una caldera con agua a presión puede incluir los siguientes pasos:

Intervención y análisis: Se debe realizar ingeniería inversa registrando en detalle la planta piloto, definiendo sus especificaciones técnicas. En este paso se deben tener en cuenta las normas y leyes que rigen la operación de este tipo de instalaciones.

Diagnóstico de partes: Intervenir una caldera y conocer el estado de todas sus partes realizando despiece de cada uno de sus sistemas, se debe realizar un plan de traslado y desmontaje para ubicar la caldera en el laboratorio de ingeniería de la Universidad. [19]

Propuesta de mantenimiento: Crear un manual que describa el paso a paso para el montaje y desmontaje de la planta piloto de una caldera con el objetivo de realizar el mantenimiento respectivo después de trasladar el equipo al laboratorio de la Universidad

Seguridad y cuidados del equipo: Evaluar los riesgos potenciales para el equipo y el entorno laboral, identificando los posibles peligros y establecer las medidas preventivas específicas para mitigar esos riesgos terminando en la creación de un protocolo de seguridad.

Proyección generación eléctrica: Plantear un plan aplicando una caldera como parte de un sistema de generación eléctrica en el laboratorio de la Universidad, igualmente identificar las disciplinas académicas que se beneficiarán del uso de una caldera.

III. DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA

hEn el marco de este capítulo, se procederá con una exposición minuciosa de la caldera de baja potencia localizada en la sede centro de la UNIMETA. Este equipo, integrante original tras la adquisición del edificio, ha desempeñado un papel crucial en actividades de lavandería durante la etapa anterior en la que el edificio funcionaba como un hotel. La identificación precisa de la caldera se llevará a cabo a través del análisis detallado de su placa de reconstrucción y automatización, identificada con la distintiva marca "CALDERAS TERMOCALD". El objetivo fundamental de este capítulo es proporcionar una visión holística de la caldera, abarcando su diseño intrínseco, especificaciones técnicas, contexto histórico y, de manera crucial, destacando su relevancia en relación con los objetivos específicos de esta investigación.

En este sentido, se enfocará en revelar la estructura interna y el funcionamiento técnico de la caldera, estableciendo así un fundamento sólido para cumplir con los objetivos delineados previamente. Esta exposición detallada permitirá comprender su estado actual, sus capacidades técnicas y su idoneidad para el traslado y uso en el laboratorio de ingeniería de la Universidad, respaldando así las etapas subsiguientes de diagnóstico, propuesta de mantenimiento, seguridad y su potencial aplicación en la generación eléctrica.

La descripción detallada de esta caldera es esencial para comprender su funcionamiento y su potencial en futuras aplicaciones relacionadas con las actividades que realiza la facultad de ingenierías de la UNIMETA.

La rehabilitación y traslado de la caldera inactiva del Edificio 'Hermana Alfredo De San Marcos' al laboratorio de la facultad de ingenierías donde posee estudiantes de ingenierías agroindustrial, ambiental, civil, alimentos, sistemas, electrónica e industrial representa una inversión estratégica de gran importancia para nuestra universidad. Esta caldera, aunque

actualmente se encuentra deshabilitada, posee un potencial valioso que impactará positivamente en la experiencia de los estudiantes y en la calidad de la educación que se ofrece.

La descripción detallada de esta caldera es esencial para comprender su funcionamiento y su potencial en futuras aplicaciones relacionadas con las actividades que realiza la facultad de ingenierías de la UNIMETA.

La rehabilitación y traslado de la caldera inactiva del Edificio sede centro al laboratorio de la facultad de ingenierías donde posee estudiantes de ingenierías agroindustrial, ambiental, civil, alimentos, sistemas, electrónica, eléctrica e industrial, representa una inversión estratégica de gran importancia para nuestra universidad. Esta caldera, aunque actualmente se encuentra deshabilitada, posee un potencial valioso que impactará positivamente en la experiencia de los estudiantes y en la calidad de la educación que se ofrece.

En primer lugar, la incorporación de esta caldera al laboratorio permitirá a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería llevar a cabo prácticas con equipos industriales reales. Esto les brindará la oportunidad de aplicar en un entorno controlado y seguro los conceptos teóricos que han adquirido en el aula. Trabajar con una caldera industrial les proporcionará una comprensión práctica de los procesos, sistemas y desafíos asociados con esta tecnología, lo que enriquecerá su formación y desarrollará habilidades críticas para su futuro profesional.

Además, la disponibilidad de esta caldera en el laboratorio aumentará el nivel de destreza y competencia técnica de los estudiantes. La experiencia adquirida al operar y mantener una caldera en condiciones controladas no solo los preparará para enfrentar desafíos del mundo real, sino que también los hará más atractivos para empleadores y oportunidades de investigación.

Y en el aspecto de la competitividad e innovación la universidad se beneficiará significativamente de esta inversión al hecho de contar con equipos industriales modernos y funcionales reflejando el compromiso con la excelencia académica y la mejora continua. Esto, a su vez, puede traducirse en un mayor reconocimiento y puntaje positivo en auditorías realizadas por el Ministerio de Educación y otros organismos de evaluación. La inversión que se desea realizar en infraestructura y recursos posicionará como una institución académica de vanguardia, lo que atraerá a estudiantes y colaboradores de alta calidad y contribuirá a elevar la reputación a nivel nacional e internacional, sin contar con las posibilidad de contribución científica que pueda ser generada por los estudiantes y el profesorado.

En resumen, la rehabilitación y traslado de esta caldera no solo responde a la necesidad de contar con equipos funcionales para fines educativos y de investigación, sino que también fortalecerá la formación de los estudiantes, mejorará la infraestructura y aumentará el prestigio académico. Es una inversión estratégica que repercutirá en múltiples áreas de nuestra universidad y beneficiará a toda la comunidad educativa.

A. Su Historia

La caldera, enclavada dentro del edificio de la Universidad UNIMETA en su sede central, permanece oculta detrás de un baño, colindante al espacio donde se llevan a cabo las clases de especialización del sexto piso. A pesar de su ubicación, este rincón ha sido relegado al olvido. Aquí se encuentran dos tanques de acero inoxidable, notablemente desprovistos de mantenimiento, exhibiendo una serie de accesorios que denotan su antigüedad y desgaste.

Este espacio alberga una compleja red de tuberías, presumiblemente destinadas a proveer tanto gas natural como agua al equipo. Entre ellas, se distinguen conductos específicos que aparentemente distribuyen agua caliente a distintos puntos del edificio. Sin embargo, la disposición caótica de estas tuberías, suspendidas y disimuladas dentro de las renovaciones estructurales efectuadas durante la transformación del edificio en sede educativa, dificulta la identificación clara de sus direcciones y funciones precisas.

A pesar de la falta de documentación específica y referencias sobre los trabajos de reconstrucción y automatización de la caldera, la inspección visual de este espacio proporciona una primera visión reveladora de su estado actual y de la complejidad inherente a su funcionamiento. Las condiciones descuidadas y la confusa disposición de las tuberías plantean desafíos notables para comprender plenamente la operatividad y el alcance de esta pieza central en el contexto de la investigación en curso sobre el equipo de generación de energía de la universidad.

B. Diseño y Especificaciones de la Caldera

Se da inicio a identificar la caldera en cuestión, se encuentra una placa en la caja del tablero eléctrico de la caldera la cual constituye la única fuente de información técnica disponible sobre el equipo. Lamentablemente, la búsqueda de datos relevantes acerca de los responsables de la reconstrucción y automatización de la caldera no arroja resultados satisfactorios. No se encuentran registros en línea ni se obtiene respuesta a las llamadas telefónicas realizadas a fin de recabar detalles adicionales. Por lo tanto, se enfrenta la tarea de llevar a cabo el análisis sin contar con documentación específica sobre el equipo o referencias adicionales. Adjunta a este texto se encuentra la fotografía de la placa de identificación de las calderas TERMOCALD.



Fig.1 Placa TERMOCALD montajes industriales quien reconstruyó y automatizó.

La caldera en cuestión no posee documentos de fabricación, operación y mantenimiento, uno de los objetivos es verificar elemento por elemento verificando su estado actual y su futura rehabilitación en el laboratorio de la facultad de Ingenierías.



Fig. 2 Caldera Pirotubular

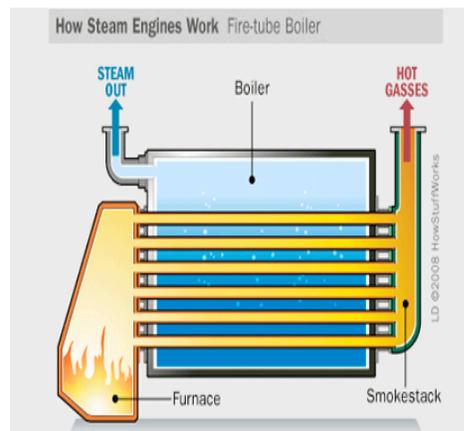


fig. 3 Esquema básico Caldera Pirotubular

Nota: fuente <https://www.eisa.cl/esquema-caldera-pirotubular/>

Esta caldera, catalogada como una caldera de baja potencia y eficiencia limitada, se distingue por su estructura interna característica. Su diseño incorpora una red de tubos que se llenan con aire caliente, actuando como conductos para transferir el calor al agua circundante. Este proceso eleva la temperatura del agua, provocando la generación de vapor en la parte superior de la caldera. Es este aspecto particular el que merece un análisis minucioso, ya que esta caldera pirotubular desempeña un papel esencial en la producción de vapor, empleado en una amplia gama de aplicaciones industriales y operativas. [62]

Antes de adentrarnos en la identificación exhaustiva de sus sistemas y componentes, resulta vital comprender la importancia y la complejidad inherente de este equipo en el campo de la generación de energía. Su función central en el ámbito específico de esta investigación subraya la necesidad de comprender detalladamente su estructura y funcionamiento para optimizar su desempeño y garantizar su integridad en el contexto actual.

A continuación se describirán los sistemas que componen la caldera para llevar a cabo de transformar el agua líquida en vapor:

Sistema de Combustión: Incluye el quemador y la cámara de combustión, donde se quema el combustible, en este caso se utiliza gas natural para generar calor.[17]

Sistema de Tubos: Compuesto por los tubos que atraviesan la cámara de combustión. Estos tubos están expuestos al calor generado por la combustión y transfieren calor al agua circundante aumentando la temperatura.

Sistema de Agua: Incluye el tanque de agua de alimentación, que suministra agua a la caldera para ser convertida en vapor. También involucra sistemas de purga y tratamiento de agua para mantener la calidad del vapor y prevenir la acumulación de sedimentos, aunque en el sistema actual no posee un tratamiento especial ya que su función principal era abastecer de vapor caliente para el uso en lavandería.[63]

Sistema de Vapor: Se encarga de la distribución del vapor generado hacia los puntos de uso como un sistema de lavandería.

Sistema de Control y Seguridad: Comprende los dispositivos de control de la temperatura, presión y flujo de agua y vapor. Esto incluye válvulas de seguridad, termostatos y otros dispositivos de control que garantizan el funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.

Sistema de Chimenea o Escape: Responsable de la evacuación de los gases de la combustión hacia el exterior de la caldera, usualmente a través de una chimenea.



Fig. 4 Caldera pirotubular horizontal de la empresa Colmaquinas

Nota: fuente <https://www.colmaquinas.com/calderas-pirotubulares-horizonta/>

La identificación precisa de la marca, modelo y número de serie de la caldera ha resultado inconclusa hasta el momento. Sin embargo, se ha observado que presenta similitudes dimensionales con las calderas pirotubulares horizontales fabricadas por la empresa Calderas Pirotubulares Colmaquinas. Estos modelos suelen variar en capacidades que oscilan entre 50 y 1000 BHP (Boiler Horse Power o caballos de fuerza de caldera), con rangos de presión de diseño comprendidos entre 150 y 350 PSI (libras de fuerza por pulgada cuadrada). Estas calderas son versátiles en cuanto a combustibles, pudiendo utilizar gas natural, propano, configuraciones duales, así como aceite liviano o pesado [26]. A pesar de la observación de la figura 2 que muestra dos pasos en lugar de los tres o cuatro comunes en estos modelos, se infiere que esta

caldera dispone de dos secciones de tuberías, permitiendo el tránsito del aire caliente para elevar la temperatura del agua de manera más uniforme [43].

En los siguientes apartados se presentarán datos aproximados referentes a las especificaciones técnicas de la caldera, considerando únicamente las características físicas observables. A pesar de la dificultad para obtener detalles específicos como marca, modelo y número de serie, se realizará un análisis detallado de la caldera basado en sus atributos externos y dimensiones visibles. Esta aproximación se centra en las características visuales y estructurales que permiten inferir aspectos relacionados con su capacidad, diseño y funcionalidad, aportando así una comprensión inicial de sus especificaciones técnicas.

C. Componentes de la caldera pirotubular UNIMETA

A continuación se va a enlistar todos los elementos que posee la caldera pirotubular:

TABLA I
INVENTARIO DE ELEMENTOS DE LA CALDERA Y SUS ESTADO ACTUAL

Item	Seleccione el sistema	Estado del elemento	Peso %
Quemador	Sistema de Combustión	Desgaste severo:	50%
Cámara de combustión	Sistema de Combustión	Desgaste leve	80%
Intercambiador de calor	Sistema de Tubos	Desgaste leve	80%
Casco o carcasa	Sistema de Control y Seguridad	Óptimo:	100%
Tapa delantera	Sistema de Combustión	Desgaste leve	80%
Tapa trasera	Sistema de Combustión	Desgaste leve	80%
Válvula de seguridad	Sistema de Control y Seguridad	Daño estructural:	20%
Chimenea	Sistema de Chimenea o Escape	Desgaste leve	80%
Condensador	Sistema de Vapor	Óptimo:	100%
Sistema de purga y drenaje	Sistema de Control y Seguridad	Daño estructural:	20%
Manómetros	Sistema de Control y Seguridad	Daño estructural:	20%
Dispositivos de control y regulación	Sistema de Control y Seguridad	Daño estructural:	20%
Sistema de control de combustión	Sistema de Combustión	Desgaste severo:	50%
Sistema de alimentación de agua	Sistema de Agua	Óptimo:	100%

Nota: La caldera tiene un estado actual de media de 63% según algunos elementos se deben cambiar,

1) Materiales usados en la construcción de la caldera

En el análisis de los materiales empleados en la construcción de la caldera y sus componentes, hemos identificado el uso de diversos materiales especializados. Se empleó acero inoxidable, cobre y níquel, comúnmente seleccionados por su resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar altas temperaturas, elementos vitales en equipos expuestos a condiciones severas.

Además, encontramos que para el alimentador de gas natural se optó por el uso de fibra de nylon y polietileno para la distribución del gas hacia el quemador. Se observó la presencia de hierro galvanizado recubierto con acero inoxidable en las redes de distribución del vapor. Asimismo. Observamos que para alimentar la caldera con agua, se utilizan tuberías de pvc la cual llega a una bomba de succión y hace la transición a la tubería de hierro galvanizado, se puede considerar que se han utilizado diferentes componentes según la necesidad.



Fig. 5 Caldera pirotubular con sus sistemas

D. Proceso de Operación:

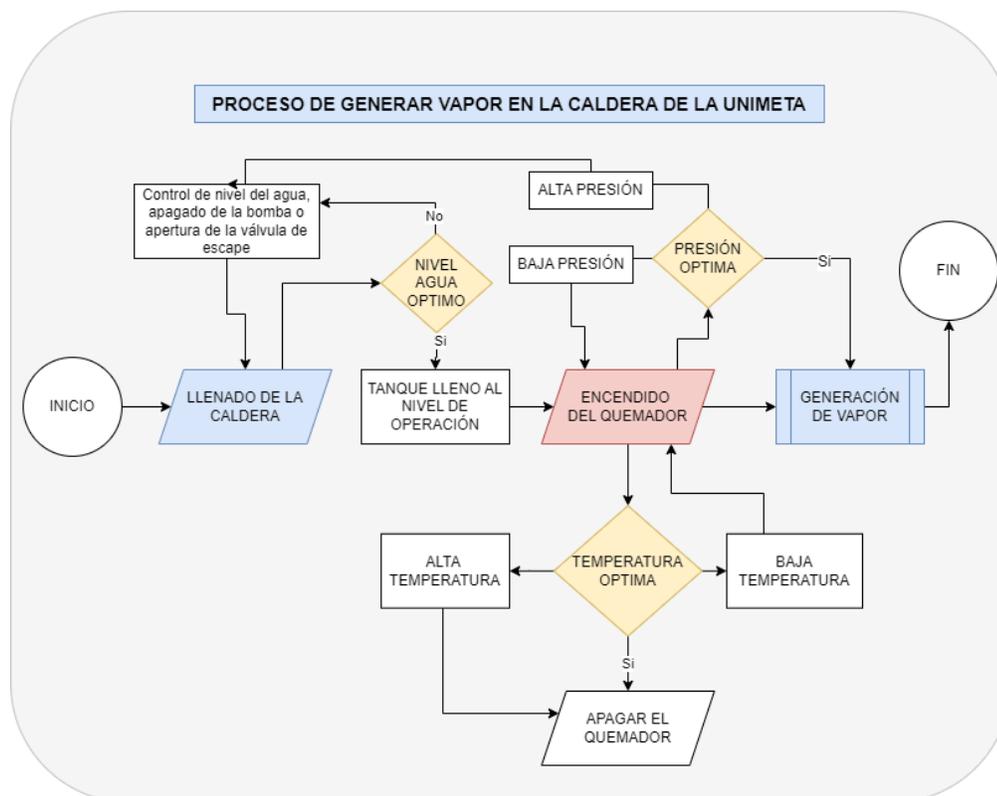


Fig. 6 Diagrama proceso generación de vapor en la caldera UNIMETA

El proceso comienza con el llenado controlado de la caldera, asegurándose de mantener un nivel de agua óptimo. Esto se logra mediante un sistema de control de nivel que regula la entrada de agua y evita la sobrecarga, permitiendo el espacio necesario para la expansión del vapor.

El encendido del quemador es una etapa crítica, controlando la combustión para generar calor. Los sensores de temperatura monitorean constantemente la temperatura del agua dentro de la caldera, garantizando que el calor generado sea suficiente para convertir el agua en vapor, pero sin exceder límites críticos que puedan dañar la estructura.

Los controles de presión, como los manómetros, son vitales. Miden la presión del vapor generado para evitar sobrepresiones peligrosas. El operador ajusta el quemador según lo indicado por estos controles, manteniendo una presión segura y constante.

Simultáneamente, los controles de niveles de agua son cruciales para evitar que el nivel descienda demasiado, lo que podría exponer los tubos y dañar la caldera, o que suba demasiado, provocando interferencias en la generación de vapor.

Estos sistemas de control, en conjunto con otros dispositivos de seguridad, como válvulas de alivio y sistemas de apagado de emergencia, garantizan la operación segura y eficiente de la caldera, cumpliendo con estándares de seguridad industrial y evitando riesgos para el personal y la maquinaria.[68]

E. Eficiencia y Rendimiento:

La eficiencia y el rendimiento de una caldera son aspectos fundamentales para su operación óptima. Sin embargo, en el caso particular de esta caldera, se enfrenta a desafíos significativos que comprometen su eficiencia y rendimiento.

La imposibilidad de poner a prueba la caldera debido a su estado de mantenimiento deficiente es una limitación clave. El aumento de la corrosión y el mal funcionamiento del quemador y del sistema de control representan preocupaciones adicionales que afectan directamente su capacidad para operar a su máximo potencial.

Además, al tratarse de una caldera horizontal, se enfrenta a desventajas intrínsecas en términos de eficiencia y rendimiento. Estos diseños suelen tener eficiencias menores en comparación con otros tipos de calderas, lo que se traduce en un rendimiento generalmente más bajo en la generación de vapor y en la utilización de energía.

F. Aplicaciones y Usos Actuales:

La historia detrás de esta caldera revela un pasado vinculado a la generación de vapor para una lavandería. Previo a la adquisición del edificio por parte de la universidad, este espacio operaba como un hotel, donde la caldera desempeñaba un papel esencial en la provisión de vapor para las actividades de lavandería. Durante aquellos días, su funcionamiento era vital para mantener en marcha las operaciones diarias, asegurando una fluidez constante en la prestación de servicios.

Sin embargo, más allá de su historia pasada, esta caldera posee un potencial latente que va más allá de su uso anterior. En el contexto actual, la universidad vislumbra un futuro prometedor para este equipo. Considerando el cambio de enfoque del edificio, transformado ahora en sede

educativa, se ha reconocido el potencial de esta caldera como un prototipo valioso en el laboratorio de ingeniería ambiental.

Su reutilización en un ambiente de investigación y aprendizaje permite vislumbrar nuevas posibilidades. Esta caldera, con sus particularidades y experiencias pasadas, ofrece la oportunidad de convertirse en un instrumento valioso para experimentos, análisis y estudios en el campo de la ingeniería ambiental. Con la adecuada optimización y exploración de su funcionamiento, podría convertirse en un recurso esencial para investigaciones relacionadas con la eficiencia energética, el impacto ambiental y el desarrollo de tecnologías sostenibles en el ámbito universitario.

G. Comparación con Otros Diseños:

Las calderas pirotubulares y acuotubulares son dos tipos distintos de calderas con características y aplicaciones particulares que difieren en su diseño y funcionamiento.

Las calderas pirotubulares se caracterizan por tener tubos o tuberías en los que se produce la combustión. El calor generado atraviesa estos tubos rodeados por agua, generando vapor. Este diseño facilita una rápida generación de vapor, siendo comúnmente utilizadas en aplicaciones industriales donde se necesita una producción continua y rápida de vapor, como en plantas de energía o procesos de fabricación.[43]

Por otro lado, las calderas acuotubulares poseen tubos por los que fluye el agua, mientras que el calor se transfiere al agua que circula dentro de estos tubos. Estas calderas ofrecen una mayor superficie de intercambio de calor y, por ende, permiten una mayor eficiencia en la transferencia de calor, siendo idóneas para aplicaciones donde se requiera un control más preciso de la temperatura del vapor generado.[38]

En resumen, las calderas pirotubulares se destacan por su rapidez en la generación de vapor y su aplicabilidad en operaciones que demandan altos volúmenes de vapor de manera continua. Mientras tanto, las calderas acuotubulares ofrecen una mayor eficiencia en la transferencia de calor, siendo más adecuadas para aplicaciones que requieran un control más preciso de la temperatura del vapor. La elección entre estos tipos de calderas depende de las necesidades específicas de cada proceso industrial o aplicación en particular. [69]

La tabla a continuación presenta una comparación detallada entre las calderas pirotubulares y acuotubulares en diversos aspectos clave de su funcionamiento y características. Continuando con este análisis comparativo, se exploran elementos adicionales que distinguen estos dos tipos de calderas en términos de su rendimiento, mantenimiento, sensibilidad a variaciones de carga, entre otros aspectos fundamentales. Esta extensión de la comparación busca brindar una comprensión más completa y detallada de las diferencias significativas que existen

entre estos diseños de calderas, destacando sus ventajas y limitaciones en diversos contextos industriales y de aplicación.

TABLA II
COMPARACIÓN ENTRE CALDERA PIROTUBULAR Y ACUOTUBULAR

Criterios	Caldera pirotubular	Caldera acuotubular
Calidad de agua	Menores exigencias, puede operar con salinidad de agua	Mayores exigencias, necesita niveles bajos de salinidad
Mantenimiento	Fácil de limpiar	Más costoso
Inspecciones periódicas	Inspección ordinaria, seguida de una prueba hidrostática	Pruebas de carácter no destructivo, como mediciones con ultrasonidos, en caso contrario se efectúan en zonas muy reducidas
Gastos de fabricación y calidad	Menores	Mayores
Rendimiento	Mayor	Menor
Características a carga parcial	Puede aprovecharse el control del quemador	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
Sensibilidad a variaciones de presión y carga	Debido al alto volumen de agua, no es susceptible a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga resultantes del proceso
Necesidades de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempos para montaje y puesta en marcha inicial	Reducido	Más prolongado
Capacidad de producción de vapor	Menor	Mayor
Presiones de trabajo	Menores	Mayores
Tipo de vapor generado	Vapor saturado	Vapor saturado y sobrecalentado

Fuente: KOHAN L, Antoni. Manual de calderas 1ra. Ed. McGRAW-HILL. Madrid 2001.

III. DIAGNÓSTICO EQUIPO

A. Componentes y sus características

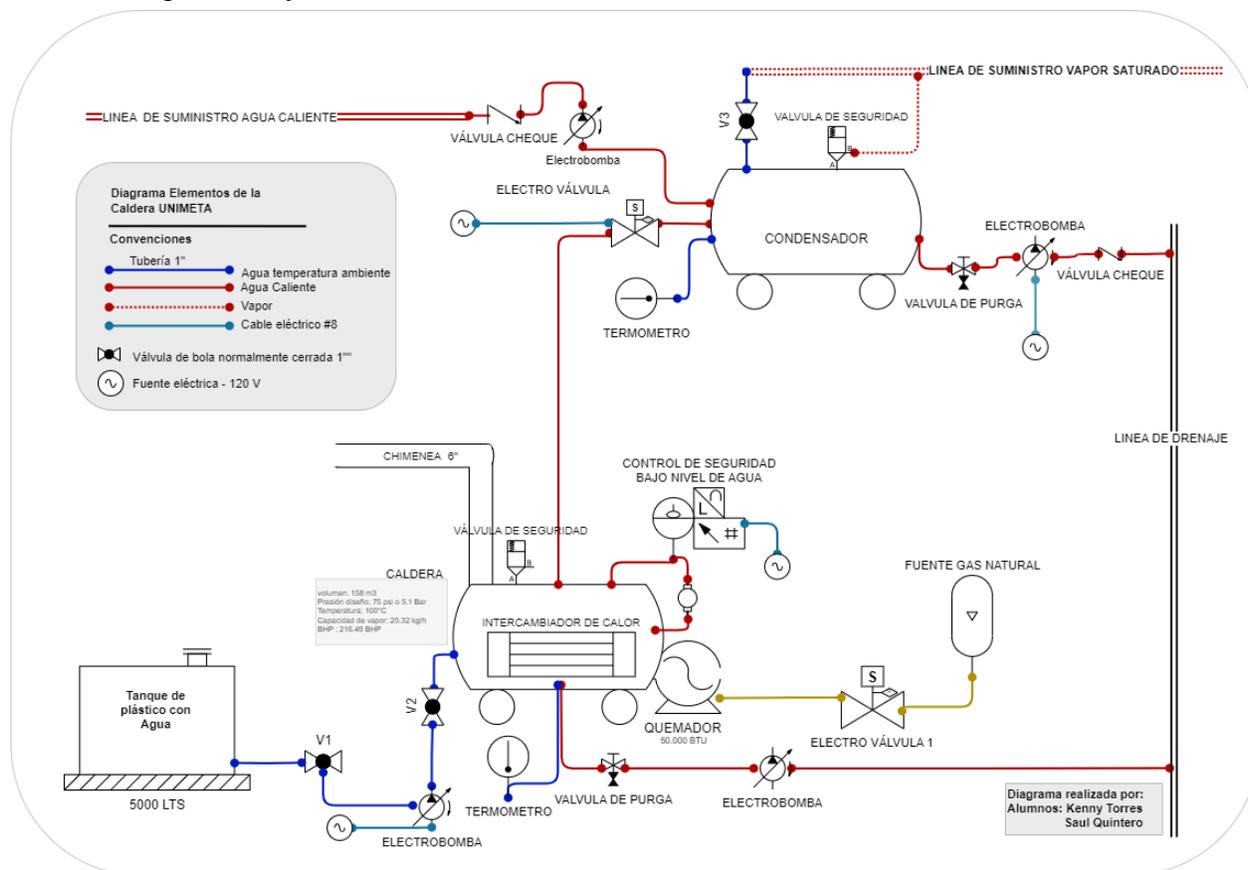


Fig. 7 Diagrama y elementos que posee la caldera de la UNIMETA

El análisis detallado de los componentes de la caldera se convierte en un desafío significativo debido a las condiciones actuales de los elementos. Gran parte de las partes carecen de información detallada sobre sus características técnicas, mientras que aquellas que contienen algún tipo de información se encuentran en mal estado, con etiquetas ilegibles o en condiciones deterioradas. Esta limitación representa un obstáculo para obtener una comprensión completa de las especificaciones y propiedades de cada componente, lo que dificulta la evaluación precisa de su funcionamiento, eficiencia y posibilidades de optimización. A pesar de estas limitaciones, se realizará un análisis exhaustivo de cada elemento disponible, utilizando las fuentes y recursos disponibles para caracterizarlos en la medida de lo posible. [60]

A continuación detallamos cada elemento según tabla 1:

1) Quemador



Fig. 8 Quemador

Su función principal es suministrar y controlar el combustible necesario para la generación de calor, la caldera que estamos analizando posee un quemador que utiliza como fuente de energía gas natural. [60]

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADOR

Criterio	Detalle
Marca	Wayne
Modelo	P250AF
Voltaje	110 voltios
Potencia mínima	50.000 BTU/h
Potencia máxima	250.000 BTU/h
Combustible	Gas natural o propano
Material	carcasa de aluminio fundido

Nota: Características de un Quemador con similitud a la que posee la caldera

2) Cámara de combustión



Fig. 9 Cámara de combustión

Es el espacio donde tiene lugar la reacción de combustión entre el combustible y el aire. Es una parte fundamental del proceso de generación de vapor en una caldera. [60]

La caldera de la UNIMETA es tipo horizontal por lo cual la cámara de combustión generalmente está ubicada en la parte frontal de la caldera, donde se introduce el combustible en este caso gas natural, junto con el aire necesario para la combustión. Esta mezcla de combustible y aire se quema en la cámara de combustión, generando calor.

La cámara de combustión está diseñada para proporcionar las condiciones ideales para que el combustible se queme de manera eficiente y completa, produciendo una gran cantidad de calor. Este calor generado se transfiere a través de los tubos o serpentines que pasan por la cámara, calentando el agua y generando vapor.

Es crucial que la cámara de combustión esté construida con materiales resistentes al calor y diseñada para mantener condiciones de combustión controladas y eficientes, ya que esto asegura una óptima generación de calor y, por ende, de vapor en la caldera horizontal . [64]

TABLA IV
 CARACTERÍSTICAS DEL CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Criterio	Detalle
Material	Lamina de acero inoxidable calibre 3/16
Longitud	1,4 metros
Diámetro	0.72 metros
Estado actual	Presenta corrosión 70% vida util
Superficie de calefacción	0.317 m ²

Nota: Características de un Cámara de combustión con similitud a la que posee la caldera

3) Tubos o serpentines



Fig. 10 Tubos y serpentines

Los tubos o serpentines en una caldera horizontal cumplen una función central en el proceso de generación de vapor. Estos elementos están diseñados para permitir el paso del agua que se calienta para convertirse en vapor. [60]

En la caldera que se está investigando los tubos o serpentines están dispuestos horizontalmente a lo largo del cuerpo de la caldera. El aire caliente ingresa por un extremo de estos tubos y, mediante el calor generado por la combustión, se calienta gradualmente mientras

circula a lo largo de ellos. La tubería se calienta convirtiendo el agua en vapor que se acumula en la parte superior de la caldera y se extrae para su uso en diversas aplicaciones. [62]

Estos tubos o serpentines están fabricados con materiales resistentes a altas temperaturas y presiones para asegurar la transferencia eficiente de calor del proceso de combustión al agua, lo que garantiza la generación óptima de vapor en la caldera horizontal en este caso se debe realizar mantenimiento ya que poseen corrosión. [64]

TABLA V
CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Criterio	Detalle
Secciones	2
Número de tubos	44
Tubos por sección	22
Material	Acero inoxidable
Diámetros de tubo	1"
Superficie de calefacción	0.58 m ²

Nota: Características de un Intercambiador de calor con similitud a la que posee la caldera

4) Casco o carcasa



Fig. 11 Casco o carcasa

Es la estructura externa que encapsula y protege los componentes internos de la caldera. Funciona como un recubrimiento exterior que resguarda los elementos críticos del equipo.

Esta carcasa, se construyó con acero resistente, se diseñó para soportar condiciones de alta presión y temperatura, comunes en el funcionamiento de una caldera. Además de proporcionar protección, el casco o carcasa ayuda a contener el calor generado en el interior de la caldera y a evitar pérdidas significativas de energía, este es un punto clave para la eficiencia del equipo.

Entre otras funciones la carcasa de la caldera tiene aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor aunque actualmente se encuentra deteriorado, cuando esta en optimas condiciones mejora la eficiencia energética y asegura que el ambiente externo no se vea afectado por las altas temperaturas generadas en el proceso de generación de vapor.[62]

Resumiendo, el casco o carcasa de una caldera horizontal no solo protege los componentes internos, sino que también contribuye a la seguridad, eficiencia y funcionamiento adecuado del equipo.

TABLA VI
CARACTERÍSTICAS DEL CASCO O CARCASA

Criterio	Detalle
Material	Acero inoxidable
Longitud	1.4 metros
Espesor	3/16
Tipo	Rolado

Nota: Características de un Casco o carcasa con similitud a la que posee la caldera

5) Tapa delantera



Fig. 12 Tapa delantera

Es una estructura que brinda acceso al interior de la caldera, permitiendo realizar labores de inspección, mantenimiento y reparación de los componentes internos del equipo.

Esta parte de la caldera está diseñada para ser abierta de manera segura y controlada, facilitando el acceso a la cámara de combustión, a los tubos o serpentines, así como a otros elementos internos. Está asegurada mediante sistemas de cierre herméticos que se ajustan con tornillería de alto calibre, la cual garantiza la integridad y seguridad del proceso cuando está en funcionamiento.[62]

TABLA VII
CARACTERÍSTICAS DEL TAPA DELANTERA

Criterio	Detalle
Diámetro	0.76 metros
Tipo de conexión	Bridada
Material	Acero al carbon
Espesor	1/2

Nota: Características de un Tapa delantera con similitud a la que posee la caldera

La tapa delantera puede ser desmontable para permitir un acceso completo al interior de la caldera como se puede observar en la fig 9, facilita la limpieza de las áreas críticas y la inspección visual de los componentes. Además, su diseño suele considerar sistemas de sellado eficientes para evitar fugas de gases o vapor.

Se puede concluir que la tapa delantera de una caldera horizontal es un elemento clave que posibilita labores de mantenimiento y revisión periódica, asegurando un funcionamiento óptimo y seguro del equipo.

6) Tapa trasera



Fig. 13 Tapa trasera

La tapa trasera de una caldera horizontal es una estructura que proporciona acceso al extremo posterior del equipo, permitiendo la inspección, limpieza y mantenimiento de los componentes internos como lo realiza la tapa delantera. Esta parte de la caldera es crucial para acceder a zonas específicas, como la salida de gases, facilitando el examen de los tubos, serpentines y otros elementos internos para garantizar su correcto funcionamiento y eficiencia. Su otra función es prevenir fugas durante la operación normal del equipo

TABLA VIII
 CARACTERÍSTICAS DEL TAPA TRASERA

Criterio	Detalle
Diámetro	0.76 metros
Tipo de conexión	Grapas
Material	Acero al carbon
Espesor	½"

Nota: Características de un Tapa trasera con similitud a la que posee la caldera

7) Válvula de seguridad



Fig. 14 Válvula de seguridad

Es un componente crucial diseñado para proteger el equipo de posibles sobrepresiones. Su función principal es liberar automáticamente el exceso de presión en el interior de la caldera para evitar que alcance niveles peligrosos, lo que podría ocasionar daños severos al equipo o incluso situaciones de riesgo para la seguridad. Esta válvula se activa cuando la presión dentro de la caldera supera un límite seguro preestablecido.

El proceso de funcionamiento es así: la válvula se abre, liberando parte del vapor y reduciendo así la presión interna. Una vez que la presión vuelve a niveles seguros, la válvula se cierra automáticamente.

Es un componente crítico para la seguridad de la caldera y, por ende, debe ser inspeccionado y mantenido regularmente para asegurar su correcto funcionamiento, en este caso la caldera no cuenta con la válvula de seguridad, lo cual no es recomendable poner en marcha hasta que no posea al menos una válvula de seguridad.[47]

TABLA IX
CARACTERÍSTICAS DEL VÁLVULA DE SEGURIDAD

Criterio	Detalle
Marca	TECTUL
Cuerpo	Bronce fundido
Asiento	Metal-Metal
Extremos	NPT
Operación	Manual-Automático
Rango	30 PSI- 175 PSI
Límites de Temperatura	-45 °C a 185 °C
Procedencia	Taiwan-Asia

Nota : La caldera no cuenta con válvula de seguridad, se relacionan los datos con una de igual características

8) Chimenea

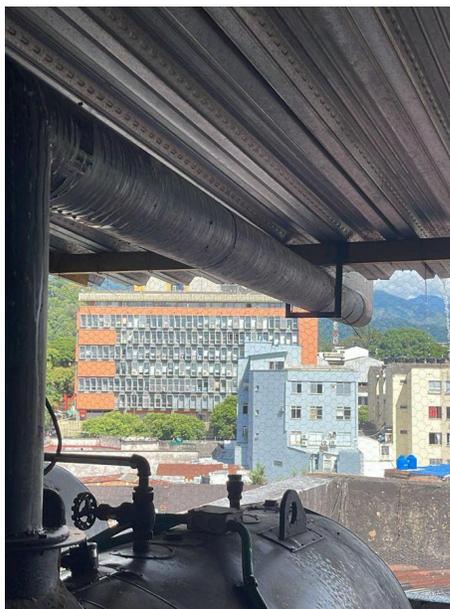


Fig. 15 Chimenea

Es un conducto vertical u horizontal diseñado para evacuar los gases de combustión resultantes del proceso de quema de combustible. Su función principal es canalizar estos gases hacia el exterior de la caldera y, posteriormente, al ambiente exterior.

La chimenea generalmente se encuentra en la parte superior de la caldera y está conectada a la cámara de combustión. Los gases de combustión, una vez liberados, son dirigidos hacia la chimenea, donde se elevan y se dispersan en el aire exterior.

La chimenea cumple un papel crucial en el mantenimiento de un ambiente seguro dentro del área donde opera la caldera, ya que permite la expulsión controlada de los gases de combustión que pueden contener productos residuales peligrosos o tóxicos. Además, ayuda a prevenir la acumulación de presión en el interior de la caldera al proporcionar una vía de escape para estos gases.

La chimenea actual se encuentra en buenas condiciones pero falta mantenimiento, está diseñada adecuadamente para asegurar una correcta evacuación de los gases, además de mantenerse en buen estado para evitar obstrucciones que puedan interferir con su función. Tiene una altura de 2 metros, el diámetro es de 6 pulgadas la cual se considera

TABLA X
CARACTERÍSTICAS DEL CHIMENEA

Criterio	Detalle
Material	Acero al carbon
Dimensión	6 Pulgadas
Forma	Tipo L
Conexión	Bridada

Nota: Características de un Chimenea con similitud a la que posee la caldera

9) Condensador



Fig. 16 Condensador

Componente conectado al sistema de la caldera, cumpliendo con la función de transformar el vapor en estado gaseoso de vuelta a líquido, liberando calor en el proceso.

El condensador en una caldera puede ser utilizado para recuperar parte del calor latente del vapor generado, condensando el vapor y devolviendo agua líquida al sistema para ser reutilizada. Esto puede contribuir a mejorar la eficiencia energética al aprovechar el calor residual del vapor.

Es importante destacar que la presencia y función del condensador en una caldera pueden variar significativamente dependiendo del diseño específico de la caldera y su configuración con otros equipos o sistemas.

TABLA XI
CARACTERÍSTICAS DEL CONDENSADOR

Criterio	Detalle
Material	Lamina de acero inoxidable 3/16
Diámetro	0.72 metros
Longitud	1.4 metros
Estado Actual	80% vida util

Nota: Características de un Condensador con similitud a la que posee la caldera

10) Manómetros



Fig. 17 Manómetro



Fig. 18 Manómetro indicador de presión de la caldera



Fig. 19 Manómetro indicador de temperatura del condensador

Los manómetros en una caldera cumplen un papel crucial al ofrecer mediciones precisas de la presión, tanto interna como externa, y la temperatura del vapor y el agua. Estos instrumentos son vitales para el monitoreo constante de los niveles de presión y temperatura

dentro de la caldera, proporcionando información esencial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Además, permiten a los operarios detectar cambios inesperados en las condiciones de trabajo, posibles fugas o fluctuaciones que puedan indicar problemas, facilitando así la toma de decisiones oportunas para evitar fallas o incidentes.

TABLA XIII
CARACTERÍSTICAS DEL MANÓMETROS

Criterio	Detalle
Marca	DE-WIT
Modelo	231
Tamaño	115mm - 4 1/2
Conexión	1/4 NPT
Material	Bronce-Aluminio- Aro exterior en acero
Exactitud	más o menos 1 % del rango
Rango	160 PSI

Nota: Características de un Manómetros con similitud a la que posee la caldera

11) Dispositivos de control y regulación

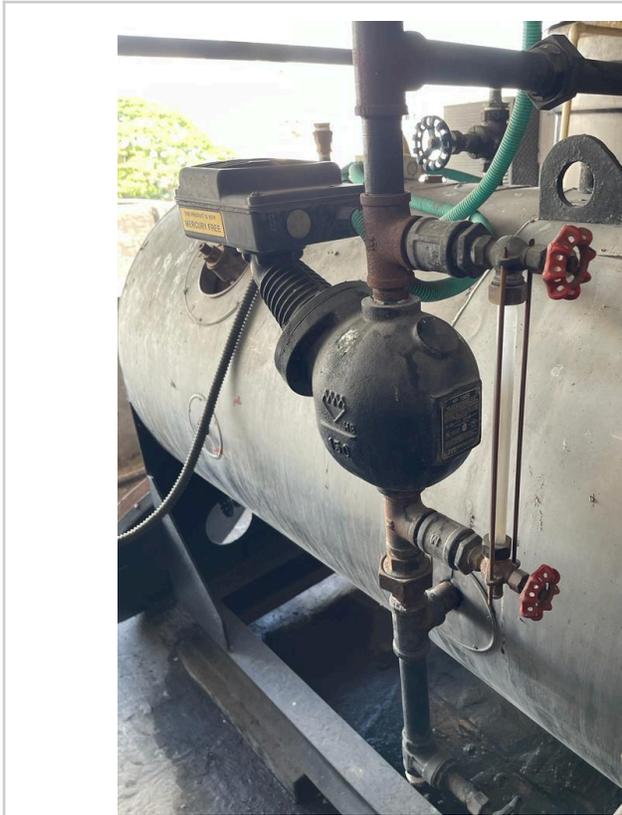


Fig. 20 Válvula de bajo nivel



Fig. 21 Timer analogo

a) Termostatos:

Controlan la temperatura dentro de la caldera y pueden activar o desactivar el sistema según los límites establecidos.

b) Interruptores de presión:

Supervisan los niveles de presión y pueden cortar el suministro de combustible en caso de que la presión exceda los parámetros seguros.

c) Válvulas de seguridad:

Actúan como un mecanismo de alivio de presión, liberando vapor en caso de que la presión interna supere los niveles seguros.

d) Controladores automáticos:

Regulan y mantienen parámetros como la temperatura, presión y nivel de agua dentro de rangos seguros mediante sistemas automatizados.

e) Alarmas y sistemas de advertencia:

Detectan anomalías o condiciones peligrosas, emitiendo alertas audibles o visuales para notificar problemas potenciales.

TABLA XIV
CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVOS DE CONTROL Y REGULACIÓN

Criterio	Detalle
Valvula de presion de bajo nivel	150 PSI
Termómetro	100C
Contactores	30 AMP
Térmico	30 AMP Graduables
Switch	2 posiciones

Nota: Características de un Dispositivos de control y regulación con similitud a la que posee la caldera

12) Sistema de control de combustión



Fig. 22 Control de combustión



Fig. 23 Indicadores de encendido o apagado

El sistema de control de combustión en una caldera horizontal es responsable de regular y gestionar la mezcla precisa de combustible y aire necesario para la combustión eficiente dentro de la cámara de combustión.

Este sistema se encarga de mantener una proporción adecuada entre el combustible y el aire, asegurando que la mezcla sea óptima para una combustión completa y eficiente. Generalmente, utiliza sensores y dispositivos para monitorear y ajustar la cantidad de combustible suministrado y la cantidad de aire introducida al sistema, manteniendo así las condiciones ideales para la combustión.

Los sistemas de control de combustión modernos suelen ser automáticos y están equipados con tecnología que permite ajustes precisos y rápidos en tiempo real, basados en las condiciones del ambiente y las necesidades de operación de la caldera. Estos sistemas contribuyen a mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones y mantener la estabilidad del proceso de combustión.

Un control adecuado de la combustión no solo garantiza una operación eficiente de la caldera, sino que también es fundamental para mantener un funcionamiento seguro y minimizar posibles problemas derivados de una combustión inadecuada, como la formación de residuos o emisiones nocivas.

TABLA XV
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN

Criterio	Detalle
Timer Analogo	30 seg - 110v
Botones	Encendido y apagado
Válvula solenoide	110V- MOD UW20
Blower	110V- 1HP

Nota: Características de un Sistema de control de combustión con similitud a la que posee la caldera

13) Sistema de alimentación de agua



Fig. 24 Bomba de succión para llenado de la caldera



Fig. 25 Tanque de almacenamiento

Su función principal es suministrar agua al equipo y mantener niveles óptimos dentro de la caldera. Este sistema garantiza un suministro continuo y controlado de agua, necesario para la producción de vapor.

Generalmente, este sistema consta de diferentes componentes, como bombas de alimentación de agua, tanques de almacenamiento de agua de alimentación, válvulas de control, sistemas de tratamiento de agua, entre otros. Las bombas son responsables de impulsar el agua hacia la caldera, asegurando un flujo constante y controlado.

El agua de alimentación puede provenir de diversas fuentes y, en algunos casos, se somete a procesos de tratamiento para eliminar impurezas y prevenir la acumulación de sedimentos dentro del sistema de la caldera.

El control preciso del sistema de alimentación de agua es crucial para mantener niveles adecuados de agua dentro de la caldera. La falta de agua puede llevar a situaciones peligrosas como sobrecalentamiento, mientras que un exceso de agua puede causar fluctuaciones en la presión y afectar la eficiencia del equipo.

Este sistema, por tanto, asegura un suministro continuo de agua de calidad a la caldera, contribuyendo a la seguridad, eficiencia y rendimiento óptimo del proceso de generación de vapor.

TABLA XVI
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

Criterio	Detalle
Tubería	Galvanizada y en pvc de 1 pulgada
Electro Bomba	2 HP AUTOCEBANTE

Nota: Características de un Sistema de alimentación de agua con similitud a la que posee la caldera

14) Sistema de purga y drenaje



Fig. 26 Bomba de succión para llenado de la caldera



Fig. 27 Tubería de purga caldera

Elimina sedimentos, impurezas y agua no deseada acumulada en el equipo. Este sistema es fundamental para mantener la eficiencia operativa y la integridad de la caldera.

Consiste en una red de tuberías, válvulas y dispositivos diseñados para drenar y purgar la caldera de residuos acumulados, que pueden afectar negativamente su funcionamiento. La purga se realiza periódicamente para eliminar sedimentos y residuos que podrían reducir la transferencia de calor y provocar la corrosión de los componentes internos.

Las válvulas de purga permiten liberar controladamente el agua y los sedimentos acumulados en la parte inferior de la caldera. Este proceso de purga también ayuda a mantener los niveles de concentración de minerales en el agua dentro de los límites recomendados, evitando así la formación de depósitos que podrían afectar la eficiencia de intercambio térmico.

El sistema de purga y drenaje debe ser operado y mantenido regularmente siguiendo las pautas y procedimientos recomendados para garantizar que la caldera funcione de manera óptima y segura. Además, su correcto funcionamiento contribuye a prolongar la vida útil del equipo y a minimizar el riesgo de fallas operativas.

TABLA XVII
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PURGA Y DRENAJE

Criterio	Detalle
Marca	TECVAL
Modelo o Tipo	Apertura Lenta
Presión máxima	250 PSI - 17,6 KG/CM ²
Temperatura máxima	406 °F, 237 °C
Material	A126 GR.B
Conexión	Bridada

Nota: Características de un Válvula de seguridad con similitud a la que posee la caldera

B. Innovaciones y Contribuciones de la Caldera

La caldera en cuestión, a pesar de ser de baja potencia y contar con un número reducido de elementos en comparación con las convencionales disponibles en el mercado académico, posee características distintivas que la hacen innovadora en su ámbito. Su diseño simple y eficiente ofrece la oportunidad de explorar y comprender los principios fundamentales de generación de vapor y sistemas térmicos, facilitando así el aprendizaje en ingeniería.

Una de sus principales diferencias radica en su accesibilidad y menor inversión requerida para su habilitación y operación. Esta cualidad la convierte en una opción atractiva para instituciones educativas con recursos limitados, permitiendo la implementación de un equipo práctico y funcional sin comprometer la calidad del aprendizaje. A pesar de su tamaño y capacidad reducida, su valor radica en la oportunidad que brinda a los estudiantes para comprender los principios básicos de operación de una caldera y su potencial en diversas aplicaciones industriales.

Además, su capacidad para servir como plataforma para el desarrollo de sistemas de control automatizados representa un aspecto innovador. A través de ella, los estudiantes pueden explorar y diseñar sistemas de control, aplicando los conocimientos teóricos en situaciones prácticas. Esta característica permite el avance y la evolución en disciplinas como ingeniería eléctrica, sistemas, y automatización, al proporcionar un entorno donde se pueden implementar y probar soluciones ingeniosas. [29]

La caldera de la UNIMETA destaca por su simplicidad, accesibilidad y potencial para ser utilizada como un recurso versátil y educativo en múltiples disciplinas de ingeniería, alentando la innovación y el aprendizaje práctico en un entorno académico.

C. Estado Actual y Mantenimiento de la caldera

El estado actual de la caldera revela una serie de necesidades de mantenimiento específicas en diferentes componentes. Se han identificado áreas críticas que requieren atención inmediata para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del equipo.

El quemador necesita pruebas exhaustivas para descartar posibles fallos totales. En cuanto a la cámara de combustión, se recomienda un mantenimiento preventivo para eliminar los residuos de corrosión que podrían afectar su desempeño. Los tubos o serpentines, aunque aparentemente operativos, necesitan una limpieza interna para asegurar un flujo óptimo.

La carcasa general se encuentra en buenas condiciones, aunque se aconseja realizar una limpieza y ajuste de partes menores para mantener su funcionamiento adecuado. Las tapas delanteras y traseras necesitan intervención de mantenimiento, mostrando resistencia al abrirse y requerimiento de correcciones.

La válvula de seguridad está pegada, requiriendo desmontaje para una verificación interna detallada. La chimenea no presenta daños estructurales, pero se recomienda un mantenimiento y pintura para preservar su estado. En contraste, el condensador está en óptimas condiciones, sin indicios de fugas de agua.

Algunos elementos como los manómetros y los dispositivos de control y regulación muestran un deterioro evidente, sugiriendo un cambio inmediato para mantener la precisión de los controles. El sistema de control de combustión necesita pruebas para un diagnóstico preciso, mientras que la válvula de purga se encuentra notoriamente dañada, requiriendo un cambio inmediato.

Por otro lado, las puertas de inspección, el sistema de purga y drenaje, y el intercambiador de calor no presentan anomalías significativas, evidenciando un buen estado en sus funciones. En resumen, se destaca la necesidad de un mantenimiento integral para asegurar el óptimo desempeño de la caldera, priorizando los elementos críticos que requieren atención inmediata.

D. Especificaciones Técnicas:

En el contexto del análisis de una caldera sin datos técnicos precisos, nos enfrentamos al desafío de determinar sus especificaciones utilizando métodos aproximados. La falta de referencias específicas nos obliga a recurrir a las magnitudes observables de la caldera. Esta investigación se enfoca en emplear cálculos aproximados basados en las características y dimensiones visibles del equipo para estimar sus especificaciones técnicas clave. A través de esta metodología, buscamos identificar de manera aproximada los valores que definen su capacidad, rendimiento y otras métricas relevantes para su correcto funcionamiento y evaluación.

1) Capacidad de Generación de Vapor:

Para conocer la capacidad de generación de vapor necesitamos utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de la caldera (kg/h)} = \frac{\text{Tasa de transferencia de calor (kJ/h)}}{\text{Diferencia de entalpía (kJ/kg)}}$$

Primero, necesitamos encontrar la diferencia de entalpía entre el vapor y el agua. La diferencia de entalpía se calcula como **la entalpía específica del vapor saturado menos la entalpía específica del agua saturada**, para lograr esto necesitamos consultar las tablas de Vapor Saturado Basada en Presión [74], podemos consultar las tablas de forma manual o en línea, para esto nos vamos apoyar en la herramienta en línea de la empresa TLV de México donde vamos a suministrar la presión manométrica que muestra el seteo de uno de los instrumentos de medición que tiene la caldera.

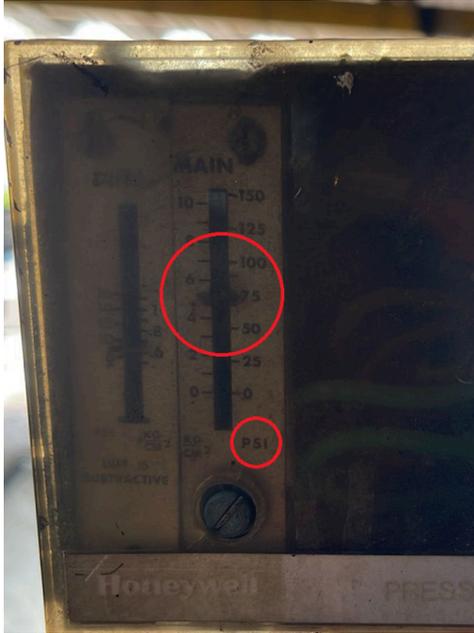


Fig. 28 Control de presión set 75 psi

Presión de Vapor

[+ Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Calcular

[Limpiar](#)

Resultados

Temperatura del Vapor Saturado	160.02	°C
Calor Latente del Vapor	2081.79	kJ/kg
Entalpía Específica del Vapor Saturado	2757.45	kJ/kg
Entalpía Específica del Agua Saturada	675.661	kJ/kg
Volumen Especifico del Vapor Saturado	0.306673	m³/kg
Volumen Especifico del Agua Saturada	0.00110201	m³/kg

Fig. 29 Consulta de entalpía del vapor

Diferencia de entalpía (kJ/kg) = $2757.45 \text{ kJ/kg} - 675.661 \text{ kJ/kg} = 2081.79 \text{ kJ/kg}$

Diferencia de entalpía (kJ/kg) = $2757.45 \text{ kJ/kg} - 675.661 \text{ kJ/kg} = 2081.79 \text{ kJ/kg}$

Resultado: 2081.79 kJ/kg

Ahora se debe hallar la transferencia de calor que se maneja en energía transferida por unidad de tiempo kJ/h. Para obtener el resultado simplemente divide la cantidad total de calor transferido por el tiempo en horas. Observando la potencia del quemador que son 50.000 btu/h

$$\text{Tasa de transferencia de calor (kJ/h)} = \frac{Q}{t \text{ (en horas)}}$$

Por consiguiente vamos a convertir BTU en kJ/h sistema internacional

1 BTU (Unidad Térmica Británica) ≈ 1055.06 julios

1 hora = 3600 segundos

Entonces, convertimos la potencia del quemador:

$$50000 \text{ BTU/h} = 50000 \text{ BTU/h} * 1055.06 \text{ J/BTU} = 52,753,000 \text{ J/h}$$

Ahora, podemos usar la fórmula para la transferencia de calor:

$$Q = \text{Potencia} \times t$$

Donde:

Q es la cantidad de calor transferido en julios.

Potencia es la potencia del quemador en julios por hora.

t es el tiempo en horas.

$$Q = 52,753,000J/h \times 1 \text{ hora} = 52,753,000J$$

$$Q = 52,753 \text{ kJ/h}$$

Este resultado representa la cantidad total de calor transferido en julios en 1 hora.

Este cálculo considera la potencia del quemador y el tiempo indicado, pero es importante señalar que otros factores, como la eficiencia del quemador y las condiciones específicas del recipiente y del sistema, podrían afectar la transferencia de calor real.

Ahora se realiza el cálculo de la capacidad de la caldera, recordemos la fórmula:

$$\text{Capacidad de la caldera (kg/h) BHP} = \frac{\text{Tasa de transferencia de calor (kJ/h)}}{\text{Diferencia de entalpía (kJ/kg)}}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$\text{Capacidad de la caldera (kg/h)} = \frac{52753 \text{ kJ/h}}{2081.79 \text{ kJ/kg}} = 25.32 \text{ kg/h}$$

Por lo tanto, la capacidad de la caldera sería aproximadamente 25.32 kg/h.

Al tener la capacidad de la caldera y la diferencia de entalpía podemos conocer los BHP (Boiler Horse Power) es la medida de la potencia de una caldera. [27]

$$\text{BHP} = \frac{\text{Capacidad de la caldera (kg/h)} \times \text{Diferencia de entalpía (kJ/kg)}}{2.442}$$

Usando los datos proporcionados y la capacidad de la caldera calculada anteriormente:

$$\text{BHP} = \frac{25.32 \text{ kg/h} \times 2081.79 \text{ kJ/kg}}{2.442} = 21.58 \text{ BHP}$$

Por lo tanto, el BHP de esta caldera sería aproximadamente 21.58 BHP, se puede considerar como una caldera pequeña o calderín ya que es menor a 100 BHP.

2) Presión de Diseño:

La presión máxima a la que la caldera ha sido diseñada para operar es 75 psi (libras por pulgada cuadrada) o 5.17 bar.

Temperatura de Diseño:

Indica la temperatura máxima a la que la caldera está diseñada para funcionar, usualmente en grados es 160 Celsius (°C) o 320 Fahrenheit (°F).

Se usa la siguiente fórmula $(160\text{ }^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32 = 320\text{ }^{\circ}\text{F}$. [76]

Tipo de Combustible:

La caldera utiliza gas natural para alimentar al quemador.

5. Eficiencia:

La eficiencia de una caldera se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{Calor no utilizado}}{\text{Calor suministrado}}\right) \times 100\%$$

El cálculo de la eficiencia requiere información detallada sobre el calor suministrado, el calor desperdiciado o no utilizado, el flujo de trabajo y otros datos relacionados con la distribución de calor en el proceso de la caldera. Dado que necesitamos conocer con precisión la cantidad de calor proporcionado y la cantidad perdida o no aprovechada durante el funcionamiento de la caldera, resulta imposible calcular la eficiencia sin operar la misma y recopilar esta información detallada

Sin embargo, para las calderas modernas y eficientes, se espera que tengan una eficiencia que oscila generalmente entre el 80% y el 90%, aunque algunas calderas extremadamente eficientes pueden alcanzar eficiencias incluso mayores.[41]

Las calderas más antiguas o menos eficientes como la que se está investigando pueden tener una eficiencia mucho menor, a menudo alrededor del 70% o incluso menos. Es importante tener en cuenta que una mejora en la eficiencia de una caldera puede ser significativa en términos de ahorro de energía y costos operativos.

3) Superficie de Calefacción:

Es muy importante calcular la superficie que va a estar en contacto con el agua para conocer este número se tiene los siguientes datos:

Número de tubos = 44
 Radio de tubos = 0.065 m
 Número de cámaras de combustión = 1
 Radio de la cámara = 0.1 m
 longitud = 1.4 m

$$Fórmula(tubería) = \pi r^2 = \pi * 0.065^2 = 0.58 m^2$$

$$Fórmula(cámara) = \pi r^2 = \pi * 0.1^2 = 0.317 m^2$$

$$Total: 0.58 m^2 + 0.317 m^2 = 0.897 m^2$$

Por lo tanto, la superficie de calefacción sería aproximadamente de 0.897 m².

7. Dimensiones Físicas:

La caldera posee 60 cm de diámetro y 138 cm de longitud resultando con 158.3 m³ pero recordemos que no podemos llenar al 100% la caldera de agua, debemos dejar espacio para el vapor, se recomienda que el agua supere la altura del intercambiador de calor. [43]

4) Caudal de Agua:

Para realizar el cálculo se recolectan los siguientes datos:

Altura del tanque : 1.77 mts

Diámetro del tanque: 2.2 mts

Distancia entre la parte más alta del tanque a la ubicación de salida a la tubería es 1.67mt

Diámetro de la tubería es 1"

El caudal se puede calcular usando la ecuación de continuidad del flujo, la cual relaciona la velocidad del fluido con el área de la sección transversal de la tubería y el caudal volumétrico.

La ecuación de continuidad del flujo se expresa como:

$$Q = A \times V$$

Q es el caudal volumétrico (en m³/s o L/s).

A es el área de la sección transversal de la tubería (en m²).

V es la velocidad del agua (en m/s).

Para calcular el área de la sección transversal de una tubería de 1 pulgada de diámetro, primero necesitamos convertir el diámetro a metros (1 pulgada = 0.0254 metros y luego usar la fórmula para el área de un círculo:

$$A = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$A = 4\pi \times \frac{d^2}{4}$$

$$A = 4\pi \times \frac{(0.0254m)^2}{4}$$

$$A \approx 5.067 \times 10^{-5} m^2$$

Una vez que se tiene el área, se calcula el caudal si conocemos la velocidad del agua. Sin embargo, para determinar la velocidad, se necesita más información, como la presión o la diferencia de altura entre los puntos mencionados en la tubería y ya se tiene entre los datos y es 1.67 mt, por consiguiente

Ahora se puede utilizar la ecuación de Torricelli para encontrar la velocidad del flujo. Esta ecuación está dada por:

$$V = \sqrt{2 \times g \times h}$$

donde,

V es la velocidad del agua en la tubería (m/s).

g es la aceleración debido a la gravedad (aproximadamente 9.81 m/s²)

h es la diferencia de altura entre la superficie del agua en el tanque y la salida de la tubería (en metros).

$$V = \sqrt{2 \times 9.81 m/s^2 \times 1.67 m}$$

$$V = \sqrt{32.77 m^2 / s^2}$$

$$V \approx 5.72 m/s$$

Se calcula con la fórmula que habíamos mencionado para hallar el caudal:

$$Q = A \times V$$

$$Q \approx 5.067 \times 10^{-5} m^2 \times 5.72 m/s$$

$$Q \approx 2.90 \times 10^{-4} m^3 / s$$

Por lo tanto, el caudal de agua a través de la tubería es: $Q \approx 2.90 \times 10^{-4} m^3 / s$

5) Rendimiento del Quemador:

Se debe conocer que el quemador actual no posee una identificación para determinar el rendimiento del mismo, llevando la necesidad de la caldera se ha investigado y se ha encontrado un quemador como está descrito en la tabla III, **Marca Wayne, Modelo P250AF a 110 V**, este quemador posee su venturi de hierro fundido proporcionando una mezcla superior de gas y aire para una máxima eficiencia y control. En comparación con los quemadores atmosféricos, se puede obtener una eficiencia de hasta el 30%. [77].

6) Control y Automatización:

El sistema de control de la caldera exhibe múltiples dispositivos de monitoreo de temperatura y presión, sin embargo, debido a la falta de mantenimiento, la mayoría de estos instrumentos podrían enfrentar fallas operativas. Además, se ha identificado la ausencia de un certificado de metrología actualizado que garantice la precisión y fiabilidad de las mediciones. Asimismo, la caldera está equipada con un sistema de control de nivel que interrumpe el suministro de gas o agua, dependiendo de las circunstancias; sin embargo, estos componentes están completamente obsoletos, lo que podría afectar significativamente su funcionalidad y capacidad de respuesta en condiciones operativas críticas.

7) Normativas y Cumplimiento:

Las normas técnicas específicas que podrían estar incumplándose en la caldera, de acuerdo con el estado actual reportado, se podría incluir los siguientes puntos de la normativa ASME (American Society of Mechanical Engineers) o cualquier otra norma pertinente relacionada con equipos de presión, ya que las normas que se implementan en Colombia derivan de la sociedad americana de ingenieros mecánicos.

Sección I de la norma ASME BPVC: En relación con las pruebas de quemadores, el mantenimiento preventivo de la cámara de combustión y los procedimientos de mantenimiento detallados de componentes específicos como las válvulas de seguridad. Estos puntos resaltan la importancia de pruebas periódicas exhaustivas y procedimientos de mantenimiento preventivo regular.

Normas para equipos de presión: Las directrices relacionadas con la integridad estructural y funcional de componentes críticos como las válvulas de seguridad, manómetros, dispositivos de control y regulación. La preservación de estas partes es crucial para garantizar la precisión en la operación y seguridad del equipo.

Procedimientos de mantenimiento y pruebas: Las normativas pueden requerir procedimientos específicos de mantenimiento y pruebas, como limpieza interna de tubos, pruebas de funcionamiento para identificar fallos totales en quemadores y pruebas de funcionamiento de sistemas de control de combustión.

El incumplimiento de estas normativas técnicas podría señalar deficiencias en las prácticas de mantenimiento preventivo, pruebas periódicas y procedimientos de diagnóstico necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.

8) Emisiones:

Las emisiones de gases de una caldera pueden variar según el tipo de combustible y las características específicas de la caldera. Se puede hacer un ejemplo hipotético para calcular las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en una caldera que utiliza gas natural como combustible ya que es la más cercana a la caldera actual y así comprender el concepto:

Si la caldera utiliza 1000 m³ de gas natural por hora y que el contenido de carbono en el gas natural es del 75% en masa.

Primero, se calcula la cantidad de carbono en el gas natural utilizado:

$$\text{Cantidad de carbono} = 1000 \text{ m}^3/\text{h} * 0.75 = 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego, se convierte la cantidad de carbono a kg/h, considerando que 1 m³ de gas natural tiene aproximadamente 0.54 kg de carbono:

$$\text{Cantidad de carbono (kg/h)} = 750 \text{ m}^3/\text{h} * 0.54 \text{ kg/m}^3 = 405 \text{ kg/h}$$

A continuación, calculamos las emisiones de CO₂, utilizando la relación estequiométrica que establece que cada kg de carbono produce 3.67 kg de CO₂:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg/h)} = 405 \text{ kg/h} * 3.67 = 1486.35 \text{ kg/h de CO}_2.[78]$$

Este cálculo se puede considerar simple y en este momento no se tiene en cuenta otros factores como la eficiencia de la caldera, la presión, la temperatura o posibles impurezas en el gas natural. Es recomendable consultar a un especialista en ingeniería ambiental o energética para cálculos precisos y cumplir con las normativas correspondientes.

9) Ciclo de Agua y Tratamiento:

El suministro de agua para la caldera proviene de un tanque de 5000 metros cúbicos, alimentado por el acueducto de Villavicencio. No se realizan procesos de suavizado o filtración del agua para mejorar su capacidad de transferencia de calor. Además, es importante mencionar que la eficiencia de la caldera evaluada no es muy alta, se cree que la empresa TERMOCALD no contempló la implementación de un sistema de tratamiento o recuperación de agua en el momento de la reconstrucción y automatización.

10) Seguridad:

Actualmente, los equipos de seguridad equipados con válvulas de alivio se encuentran obsoletos. En particular, la válvula de seguridad para la caldera está ausente lo cual la inhabilita para operar, por consiguiente se cuenta únicamente unas electroválvulas que tienen la función de interrumpir el flujo de agua o detener el suministro de gas natural al quemador. Es fundamental recordar que una caldera en funcionamiento requiere vigilancia continua, ya sea mediante un sistema automatizado o mediante la supervisión activa de personal capacitado para operar el equipo de manera segura.

11) Garantías y Mantenimiento:

La carencia de garantías y procedimientos de mantenimiento es evidente; algunas placas con datos suministrados por los proveedores permanecen visibles, mientras que otras se encuentran ilegibles debido al deterioro. Por ende, la falta de respaldo o garantías en relación con la caldera es un hecho incuestionable. En consecuencia, se hace necesario establecer un procedimiento de mantenimiento como uno de los objetivos primordiales de esta investigación.

12) Personal de Operación Requerido:

Para una caldera de bajo rendimiento, se podría requerir una supervisión más cercana y continua debido a su menor eficiencia y posible propensión a problemas operativos. Dependiendo de las condiciones y regulaciones locales, así como de las necesidades específicas de operación, podrían necesitar más operarios. En algunos casos, podría ser necesario tener al menos dos operarios para garantizar una supervisión constante y realizar ajustes manuales para mantener un funcionamiento seguro y eficiente.

Por norma ASME se debe capacitar al personal y certificar los operadores de calderas, incluyendo la experiencia requerida, la formación y los conocimientos necesarios para operar estas instalaciones de manera segura y eficiente.[66]

IV. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento adecuado de una caldera es esencial para garantizar su operatividad, seguridad y eficiencia a lo largo del tiempo. Ante la falta de información detallada sobre garantías, procedimientos de mantenimiento y datos de proveedores, se hace imperativo establecer un plan de mantenimiento para la caldera en cuestión. El propósito de este plan es definir actividades claras, frecuencias de ejecución y las herramientas necesarias para el mantenimiento preventivo y correctivo de los elementos clave de la caldera. A través de esta planificación, se busca garantizar un funcionamiento óptimo, reducir riesgos y asegurar el cumplimiento de estándares de seguridad y regulaciones establecidas por ASME y otras normativas pertinentes.

TABLA XVII
PLAN DE MANTENIMIENTO CALDERA

Elemento a Mantener	Actividad	Frecuencia	Herramientas necesarias
Quemador	Pruebas exhaustivas para descartar fallos totales.	Mensualmente	Equipos de medición de combustión, kit de pruebas específicas.
Cámara de Combustión	Mantenimiento preventivo para eliminar residuos de corrosión.	Cada tres meses	Herramientas de limpieza de corrosión, equipo de protección personal.
Tubos o Serpentes	Limpieza interna para asegurar un flujo óptimo.	Semestralmente	Equipos de limpieza de tuberías, cepillos y solventes adecuados.
Carcasa	Limpieza y ajuste de partes menores.	Anualmente	Herramientas básicas de ajuste, limpieza y verificación de piezas.
Tapas Delantera y Trasera	Mantenimiento correctivo para corregir resistencia al abrir.	Trimestralmente	Herramientas de ajuste, lubricantes.
Válvula de Seguridad	Desmontaje y verificación interna.	Bimestralmente	Kit de desmontaje, herramientas para inspección.
Manómetros y Dispositivos	Cambio inmediato debido a su deterioro.	Según necesidades	Nuevos manómetros y dispositivos de control, herramientas de reemplazo.
Válvula de Purga	Cambio inmediato debido a daños evidentes.	Inmediatamente	Nueva válvula de purga, kit de instalación.
Revisión y Monitoreo Constante	Inspecciones generales y pruebas de funcionamiento.	Según necesidades	Instrumentos de control, registro de datos.

Nota: Plan de mantenimiento requerido para el estado de la caldera actualmente

V. HAZOP

A. Objetivo del HAZOP:

Identificar y evaluar posibles desviaciones operativas o de diseño en la caldera para garantizar su operación segura como planta piloto para estudiantes de todas las ingenierías de la universidad, cumpliendo con las normas ASME.

B. Equipo HAZOP:

Formar un equipo multidisciplinario que incluya expertos en operación de calderas, seguridad, control de procesos y estudiantes.

Nodos del Sistema:

1. Quemador
2. Cámara de combustión
3. Intercambiador de calor
4. Casco o carcasa
5. Tapa delantera
6. Tapa trasera
7. Válvula de seguridad
8. Chimenea
9. Condensador
10. Sistema de purga y drenaje
11. Manómetros
12. Dispositivos de control y regulación
13. Sistema de control de combustión
14. Sistema de alimentación de agua

Parámetros a Analizar:

1. Presión
2. Temperatura
3. Caudal de agua
4. Caudal de combustible
5. Niveles de agua y vapor
6. Condiciones de combustión

C. Análisis de riesgo HAZOP:

A continuación se nombran los posibles riesgos que pueden presentar en la operación de la caldera:

1) Presión Inadecuada:

Variaciones en la presión de vapor, ya sea por un exceso o déficit de presión en comparación con las especificaciones de diseño.

2) Temperatura Anormal:

Diferencias significativas en la temperatura del vapor o del agua dentro de la caldera, superando los rangos normales de operación.

3) Fugas o Pérdidas:

Posibles fugas de vapor, agua o gases que podrían indicar problemas en las válvulas, tuberías u otros componentes.

4) Niveles Inestables:

Variaciones abruptas o inesperadas en los niveles de agua dentro del sistema de la caldera.

5) Mal Funcionamiento del Quemador:

Problemas en la combustión, como una llama irregular, una distribución inadecuada de calor o un suministro de combustible insuficiente o excesivo.

6) Fallas en los Dispositivos de Seguridad:

Dispositivos como válvulas de alivio o sistemas de corte de emergencia que podrían no activarse correctamente en situaciones críticas.

7) Sobrecalentamiento:

Un exceso en la temperatura del agua o del vapor, lo que podría generar problemas en los componentes internos y la integridad estructural de la caldera.

8) Corrosión y Deterioro:

Desgaste excesivo, corrosión o daño en partes importantes de la caldera debido al tiempo, falta de mantenimiento o entorno corrosivo.

D. Identificar Consecuencias:

Identificar las posibles situaciones que se pueden presentar de cada riesgo es importante porque así se puede categorizar los riesgos y así mismo priorizar las acciones, a continuación se muestran las posibles consecuencias:

1) Riesgos de Seguridad:

Desviaciones como presión inadecuada, temperaturas anormales o fallas en dispositivos de seguridad pueden resultar en accidentes, explosiones o fugas, poniendo en peligro a los operarios y al entorno.

2) Daños en Componentes:

Las fugas, corrosión o sobrecalentamiento pueden dañar los componentes internos de la caldera, afectando su eficiencia y vida útil.

3) Reducción de Eficiencia:

Problemas en el quemador, pérdidas de calor o variaciones en la presión pueden disminuir la eficiencia de la caldera, aumentando los costos operativos y energéticos.

4) Interrupciones en la producción:

Un mal funcionamiento de la caldera puede detener la producción, causando pérdidas económicas y afectando la continuidad de procesos industriales.

5) Impacto Ambiental:

Fugas de gases o líquidos, especialmente si contienen químicos o contaminantes, pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente.

6) Daños a la Estructura:

El sobrecalentamiento o la presión inadecuada pueden causar daños estructurales graves en la caldera, aumentando los costos de reparación o incluso necesitando reemplazos completos.

E. Evaluar Severidad:

Conocer la criticidad y categorizarlas ayuda a que el equipo de mantenimiento y operación puedan realizar las acciones necesarias en un orden lógico, a continuación se muestran posibles situaciones negativas con su nivel de severidad:

1) Riesgos de Seguridad:

Alta severidad - Las consecuencias pueden ser catastróficas, con riesgo de lesiones graves o incluso fatales para los operarios y daños significativos al entorno.

2) Daños en Componentes:

Moderada a alta severidad - Dependiendo de la magnitud, puede tener impactos financieros significativos y requerir reparaciones costosas.

3) Reducción de Eficiencia:

Moderada severidad - Puede aumentar los costos operativos y energéticos, pero las consecuencias no son inmediatamente peligrosas.

4) Interrupciones en la Producción:

Alta severidad - Interrupciones prolongadas en la producción pueden resultar en pérdidas económicas considerables.

5) Impacto Ambiental:

Variable - Puede ser desde moderado a alto, dependiendo de la naturaleza y cantidad de los contaminantes liberados.

6) Daños a la Estructura:

Alta severidad - Los daños estructurales pueden resultar en costos de reparación significativos y la necesidad de reemplazar componentes importantes.

7) Proponer Medidas de Mitigación:

Debemos tener un protocolo de acciones para atender las posibles situaciones indeseadas, a continuación se proponen diferentes acciones para mitigar dichas situaciones:

F. Riesgos de Seguridad:

Implementar protocolos de seguridad rigurosos con alcance a todo el personal.

Proporcionar equipos de protección personal adecuados.

Realizar capacitaciones regulares sobre seguridad y procedimientos de emergencia.

1) Daños en Componentes:

Establecer un programa de mantenimiento preventivo regular para identificar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas costosas.

Realizar inspecciones y pruebas de componentes clave de la caldera.

2) Reducción de Eficiencia:

Modernizar o mejorar el sistema de combustión para aumentar la eficiencia energética.

Implementar sistemas de monitoreo y control para optimizar el rendimiento.

3) Interrupciones en la Producción:

Desarrollar planes de contingencia y redundancia para minimizar el tiempo de inactividad en caso de fallas y realizar mantenimientos programados durante períodos de baja demanda para minimizar el impacto en la producción.

4) Impacto Ambiental:

Implementar tecnologías de control de emisiones para reducir la liberación de contaminantes y cumplir con estándares ambientales y regulatorios.

5) Daños a la Estructura:

Realizar inspecciones estructurales regulares para identificar daños potenciales y tomar medidas correctivas a tiempo y reforzar o reemplazar partes estructurales según las necesidades y recomendaciones de los expertos.

6) Documentar Resultados:

La documentación exhaustiva de todas las desviaciones, consecuencias y acciones correctivas propuestas es un componente esencial en cada fase operativa. Esta práctica permite mantener un registro detallado de los eventos no deseados, generando un historial valioso que cumple con estándares normativos. Además, esta documentación facilita la identificación de factores de riesgo potenciales, brindando la oportunidad de prevenir futuras incidencias similares. Al mismo tiempo, promueve una mayor conciencia en el equipo de trabajo al resaltar la

importancia de seguir procedimientos establecidos y tomar medidas preventivas para garantizar un entorno operativo seguro y eficiente.

7) Revisión y Validación:

La revisión exhaustiva de los resultados obtenidos a través del HAZOP con la participación de expertos es crucial para validar y mejorar la efectividad de las medidas propuestas. Esta revisión implica una evaluación detallada de los hallazgos con la experiencia y el conocimiento especializado del equipo técnico. Validar estas medidas no solo garantiza su idoneidad y pertinencia, sino que también permite incorporar perspectivas múltiples y experiencia práctica en la implementación de soluciones efectivas. Esta colaboración entre expertos asegura la viabilidad y eficacia de las acciones correctivas, fortaleciendo así la gestión integral de riesgos y mejorando la seguridad operativa en el entorno de la caldera.

8) Implementación de Medidas Correctivas:

La implementación de medidas correctivas en el diseño y la operación de la caldera es el siguiente paso fundamental después de identificar las desviaciones y establecer estrategias de mitigación. Este proceso implica la integración de las soluciones propuestas en el funcionamiento cotidiano de la caldera, adaptando y mejorando los procedimientos operativos, incorporando sistemas de monitoreo y asegurando el cumplimiento de las normativas pertinentes. La aplicación efectiva de estas medidas no solo aborda las áreas de riesgo identificadas, sino que también establece un entorno operativo más seguro y eficiente para la caldera y su entorno

9) Seguimiento Continuo:

El seguimiento continuo de los procesos, especialmente aquellos relacionados con la metodología HAZOP, es esencial para garantizar un entorno seguro y eficiente en la operación de la caldera. Revisar y evaluar regularmente las medidas correctivas implementadas, monitorear los indicadores clave de desviaciones identificadas y medir el impacto de las soluciones adoptadas son aspectos cruciales para mantener la integridad y seguridad del proceso operativo. Este seguimiento constante permite ajustar estrategias según sea necesario, validar la efectividad de las acciones tomadas y promover una cultura proactiva de seguridad en el entorno de la caldera asegurando por medio de la inspección, calibración y certificación según la norma que precise.

VI. MANUAL Y PROTOCOLO

A. Proceso de desmontaje

El traslado de la caldera hacia el laboratorio de ingeniería implica un proceso meticuloso y detallado de desmontaje para garantizar la integridad del equipo y su funcionamiento óptimo una vez instalado en su nueva ubicación. Cada componente, desde la estructura principal hasta los dispositivos de control y regulación, requerirá un procedimiento específico de desmontaje para su traslado seguro.

1) Pasos para el Desmontaje de la Caldera

Se identifican todas las partes móviles de la caldera y sus complementos, para realizar el desmontaje recomendamos las siguientes herramientas de mano:

1. Llave mixta de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, 1 pulgada
2. Pistola eléctrica atornilladora
3. Martillo de hierro 10 lbs
4. Cinta métrica
5. Calibrador pie de rey
6. Llave expansiva
7. Cincel
8. Guantes de carnaza
9. Monogafas

A continuación se muestra el paso a paso de la actividad de desmontaje:

a) Tapa Delantera y trasera

Para llevar a cabo el proceso de desinstalación de las tapas, es imperativo realizar con meticulosidad el desatornillado y la extracción. Resulta crucial liberar las tres grapas que aseguran cada tapa en su posición en la caldera. En determinadas circunstancias, las tapas pueden presentar adherencias debido a las elevadas temperaturas a las que han estado expuestas, lo que podría requerir la aplicación de un cincel y un martillo para facilitar su separación. Estos instrumentos pueden ser estratégicamente posicionados en la abertura con el fin de agilizar el proceso, dado que las tapas podrían estar adheridas y no desprenderse fácilmente.

b) Sistema de combustión

Tras verificar la ausencia de energía, el siguiente paso implica desatornillar el quemador. Una vez desinstalado, liberamos los ocho pernos que aseguran el flanche a la caldera. Es importante destacar que este flanche está conectado al quemador. Una vez que los pernos han sido liberados, procedemos a despegar un empaque que se encuentra adherido a la superficie. El control de combustión está ajustado al quemador no es necesario retirarlo para el traslado hacia la otra ubicación.

c) Sistema de control y seguridad

El desmonte se lleva a cabo girando las válvulas hacia la izquierda con la llave expansiva, ajustándose a la medida de la rosca y girándola. Es necesario tener precaución, ya que la válvula es considerablemente pesada para sostener con una sola mano. Del mismo modo, los manómetros cuentan con una conexión roscada, por lo que se recomienda evitar golpearlos, ya que esto podría romper el vidrio, causar la pérdida de la glicerina y, consecuentemente, la pérdida de su certificado de calibración. La válvula de purga también tiene una conexión roscada, para la cual se puede utilizar la llave expansiva; es importante recordar girar hacia la izquierda para soltarla.

d) Chimenea

La desinstalación se lleva a cabo desatornillando la base, y se recomienda realizar este procedimiento en compañía de al menos tres personas, dado que el tamaño es considerablemente grande y podría ocasionar lesiones o daños en la estructura de la caldera si se intenta realizar de manera individual.

e) Condensador

Ejecutar la purga implica retirar todo el contenido presente en el interior del condensador y desconectar todas las fuentes de energía eléctrica, así como las tuberías de suministro y desagüe antes de proceder a retirar el condensador. Es fundamental garantizar que se prevengan fugas o derrames de líquido durante todo el proceso.

f) Caldera

Durante la purga, elimine todo el contenido de agua y residuos sólidos del interior de la caldera. A continuación, desconecte todas las fuentes de energía eléctrica, la tubería de suministro y el desagüe. Tenga presente que el calentador cuenta con puntos de izaje diseñados para facilitar su traslado, asegurando así la prevención de fugas o derrames de líquido..

g) Dispositivos de Control y Regulación

Desconecte y desmonte los dispositivos de control, registrando meticulosamente sus ajustes y conexiones con el objetivo de facilitar su instalación posterior..

h) Sistema de Alimentación de Agua

Desconectar y retirar el sistema de alimentación de agua, garantizando un drenaje completo para prevenir posibles fugas durante el traslado..

i) Sistema de Purga y Drenaje

- Desmontar los componentes del sistema de purga y drenaje siguiendo los protocolos establecidos para prevenir daños..

Este proceso de desmontaje meticuloso y secuencial garantizará que la caldera se traslade de manera segura y eficiente hacia el laboratorio, preservando su integridad estructural y funcional para su futura instalación y uso en experimentos y prácticas académicas.

B. Propuesta trasladó a la nueva ubicación

La propuesta de traslado de la caldera desde la sede del centro de la universidad UNIMETA hacia el Parque Metropolitano María Lucía en la vereda La Llanerita se puede considerar que es la mejor opción y para hacerlo se debe tener en cuenta en varios aspectos clave para garantizar un traslado seguro y eficiente, a continuación se muestran los aspectos que se creen que se deben tener en cuenta para el traslado:

1) Evaluación de Riesgos y Permisos:

a) Estudio de Riesgos:

Realizar una evaluación exhaustiva de riesgos asociados al traslado, incluyendo aspectos de seguridad, manipulación, carga y descarga.

b) Permisos Requeridos:

Gestionar los permisos necesarios para el traslado, incluyendo autorizaciones viales y cualquier regulación específica para transporte de equipos de gran tamaño.

2) Equipos de Izaje y Logística:

a) Equipos de Izaje:

Identificar y asegurar la disponibilidad de equipos especializados y personal capacitado para el movimiento seguro de la caldera.

b) Planificación Logística:

Establecer un plan detallado para el traslado, incluyendo rutas, horarios, medios de transporte y coordinación con autoridades competentes.

2) Recomendaciones y Mejor Ubicación:

El Parque Metropolitano María Lucía ofrece un entorno adecuado, con espacio disponible para la operación de la caldera y otros sistemas de generación de energía. Se debe destacar su idoneidad para estas actividades.

a) Recomendaciones de Instalación:

Brindar recomendaciones sobre la ubicación específica en el parque, considerando aspectos de seguridad, acceso, infraestructura y eficiencia operativa.

3) Consideraciones Adicionales:

a) Coordinación Interinstitucional:

Establecer comunicación con las autoridades locales, organismos de tránsito y gestores del parque para coordinar el traslado de manera efectiva.

b) Capacitación y Concientización:

Realizar capacitaciones y sesiones informativas para el personal involucrado en el manejo y operación de la caldera en su nueva ubicación.

c) Protocolos de Emergencia:

Desarrollar protocolos de emergencia específicos para la nueva ubicación, incluyendo procedimientos de seguridad y respuesta a situaciones imprevistas.

d) Promoción y socialización:

Crear varias campañas de comunicación para todos los estudiantes de la facultad de ingeniería enfocada a la nueva adquisición de parte de la UNIMETA, la cual va a ofrecer nuevas experiencias interdisciplinarias a los estudiantes.

A continuación se muestran fotos del edificio centro y el parte Metropolitano Maria Lucia.

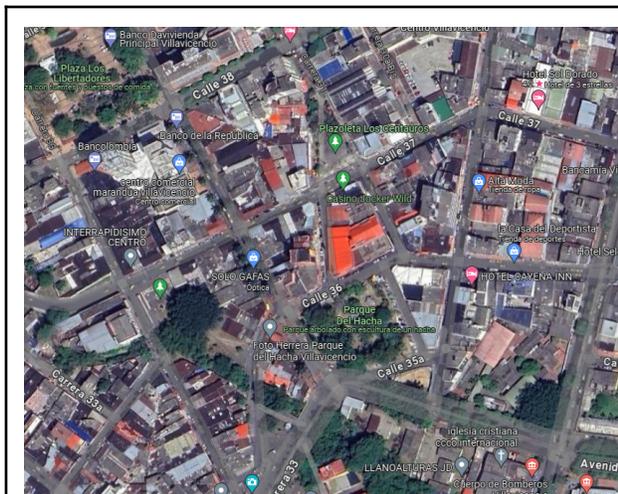


Fig. 30 Edificio centro UNIMETA escala 100 mt
fuente: <https://maps.app.goo.gl/nV9XYvugxpgcqt2M7>

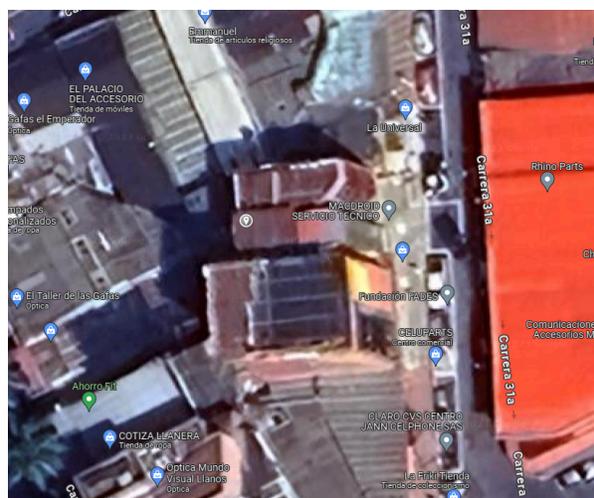


Fig. 31 Edificio centro UNIMETA escala 10 mt
fuente: <https://maps.app.goo.gl/nV9XYvugxpgcqt2M7>

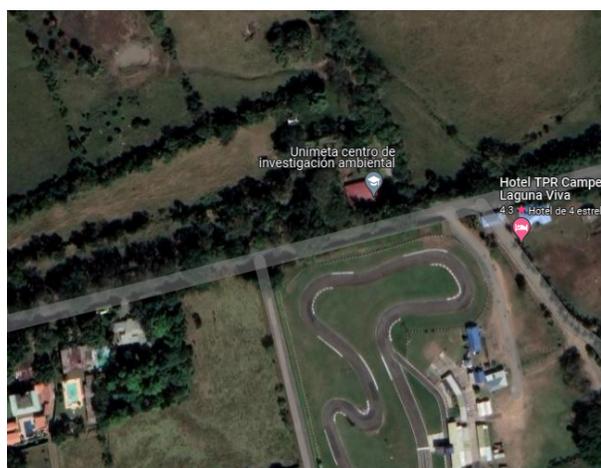


Fig. 32 Parque Parque Metropolitano María Lucía
Ubicado en la vereda La Llanerita escala 100 mts
fuente: <https://maps.app.goo.gl/Gszm7EQDuo2LJVUr6>



Fig. 33 Parque Parque Metropolitano María Lucía
Ubicado en la vereda La Llanerita escala 20 mts
fuente: <https://maps.app.goo.gl/Gszm7EQDuo2LJVUr6>

C. Protocolo de Encendido de Caldera:

1) Preparación Previa

Verificar que la caldera esté correctamente instalada y conectada a las fuentes de alimentación, suministro de agua y desagüe.

Confirmar que todos los dispositivos de control y seguridad estén en su lugar y funcionando correctamente.

2) Inspección Visual

Realizar una inspección visual de la caldera para asegurarse de que no haya obstrucciones, fugas o daños evidentes.

Verificar la integridad de las conexiones y componentes, incluyendo tuberías, válvulas y dispositivos de medición.

3) Desmontaje Temporal (si aplica)

En el caso de que se haya desmontado la caldera previamente, asegurarse de que todos los componentes hayan sido instalados correctamente según los registros previos.

4) Conexión de Suministros

Abrir gradualmente la válvula de suministro de gas, asegurándose de que no haya fugas y que la presión sea la adecuada.

Verificar que la válvula de suministro de agua esté abierta y que haya suficiente presión en el sistema.

5) Encendido de la Caldera

Encender el sistema de la caldera, siguiendo las instrucciones del fabricante.

Monitorizar el proceso de ignición y verificar que se establezca una llama piloto estable.

6) Ajustes y Pruebas

Ajustar los controles según sea necesario para lograr la temperatura y presión deseadas.

Realizar pruebas funcionales de los dispositivos de seguridad, incluyendo válvulas de alivio de presión y sistemas de apagado de emergencia.

7) Monitoreo Continuo

Mantener una supervisión continua durante el proceso de encendido para detectar posibles problemas o anomalías.

Verificar que todos los parámetros estén dentro de los rangos seguros.

8) Registro de Datos

Registrar los datos relevantes durante el proceso de encendido, incluyendo temperaturas, presiones y cualquier observación importante.

Mantener un registro detallado para futuras referencias y mantenimiento.

9) Cierre Seguro

- En el caso de que se realice alguna prueba o ajuste, asegurarse de cerrar la caldera de manera segura.

10) Capacitación y Documentación

Proporcionar capacitación adecuada al personal involucrado en el manejo de la caldera y mantener documentación actualizada de los procedimientos de encendido para referencia futura.

D. Propuesta de generación electricidad aprovechando el vapor de la caldera

1) Objetivo:

El objetivo es proponer el desarrollo de un proyecto de generación eléctrica optimizando la energía térmica generada por la caldera instalada en el parque metropolitano maria lucia, convirtiendo el vapor resultante en una fuente de energía eléctrica a través de la instalación de una turbina de vapor.

2) Elementos Sistema de Generación

A continuación se muestra los elementos necesarios para llevar a cabo este proyecto:

a) Turbina de Vapor:

Selección de una turbina de vapor adecuada, que pueda operar con el vapor generado por la caldera y convertir su energía en electricidad.

b) Generador Eléctrico:

Implementación de un generador eléctrico conectado a la turbina para convertir el movimiento rotativo en energía eléctrica utilizable.

c) Sistemas de Control:

Implementación de sistemas de control y regulación para monitorear y gestionar la producción de electricidad.

d) Sistema de Acondicionamiento de Vapor:

Equipamiento para acondicionar y filtrar el vapor proveniente de la caldera, asegurando un flujo adecuado y limpio hacia la turbina.

e) Infraestructura de Conexión:

Diseño e instalación de sistemas de conexión entre la caldera, la turbina y el generador eléctrico.

f) Equipos de Seguridad y Mantenimiento:

- Implementación de sistemas de seguridad para prevenir incidentes y garantizar la operación segura y confiable del sistema.

- Planificación de un programa de mantenimiento regular para todos los componentes involucrados en la generación de electricidad.

3) Beneficios

Realizando esta inversión en nuevos equipos de generación que se pueden acoplar al sistema de generación térmica se enlistan los beneficios observables:

a) Aprovechamiento Eficiente de Vapor:

Conversión del vapor residual de la caldera en electricidad, maximizando el uso de la energía térmica.

b) Generación de Energía Limpia:

Producción de energía eléctrica utilizando un recurso ya existente y sin aumentar la huella ambiental.

c) Eficiencia Operativa:

Incremento en la eficiencia energética general de la planta al aprovechar un recurso subutilizado.

d) Reducción de Costos y Dependencia Externa:

Reducción de costos energéticos al generar electricidad internamente, disminuyendo la dependencia de fuentes externas, si desean utilizarlo como fuente de energía para el parque, aunque está destinado para el uso académico.

e) Posibilidad de Escalabilidad:

Potencial para ampliar el sistema en el futuro, según las necesidades de energía de la planta.

Esta iniciativa busca aprovechar la energía térmica desaprovechada de la caldera, convirtiendo su vapor en electricidad utilizable, lo que conlleva beneficios económicos y ambientales para la operación general de la planta, si fuese utilizado para un proceso continuo en las instalaciones del parque, pero el enfoque de esta investigación es disponer los beneficios académicos que pueden obtener la universidad, los profesores y el estudiante, a continuación mostraremos algunos de estos beneficios:

4) Experiencia Práctica en Ingeniería:

La implementación de este proyecto proporcionará a los estudiantes de ingeniería la oportunidad de interactuar directamente con tecnologías industriales reales como la caldera y la generación de energía a partir de vapor.

Aprendizaje en Entornos Reales:

Los estudiantes podrán adquirir experiencia en ambientes industriales, comprendiendo los procesos operativos y las medidas de seguridad asociadas a la manipulación de una caldera.

Desarrollo de Habilidades Técnicas:

Al participar en la planificación, instalación y monitoreo de la generación de energía, los estudiantes desarrollarán habilidades prácticas en ingeniería mecánica, eléctrica y de control.

Enfoque Interdisciplinario:

Este proyecto fomentará la colaboración entre diferentes áreas de la ingeniería, permitiendo a los estudiantes aprender y trabajar en equipos multidisciplinarios.

Aplicación de Conocimientos Teóricos:

La experiencia directa con la caldera brindará a los estudiantes la oportunidad de aplicar sus conocimientos teóricos en un contexto práctico y tangible.

Preparación para el Mercado Laboral:

El involucramiento con proyectos prácticos como este ayudará a los estudiantes a destacar en el mercado laboral al obtener habilidades valiosas y experiencia relevante para la industria.

VII. DISCUSIÓN

Discusión sobre el Procedimiento Estándar de Instalación de Calderas entre la Universidad de Ambato (Ecuador) y la UNIMETA:

A. Experiencias Previas:

La Universidad de Ambato podría compartir experiencias previas en la instalación de calderas, resaltando los desafíos enfrentados y las soluciones implementadas.

La UNIMETA podría aprovechar estas experiencias para desarrollar un protocolo adaptado a su entorno, aprendiendo de las lecciones de la Universidad de Ambato.

B. Recursos y Colaboración:

La Universidad de Ambato podría explorar oportunidades de colaboración, como compartir recursos educativos, manuales, o incluso la posibilidad de organizar talleres conjuntos sobre instalación de calderas.

La UNIMETA podría beneficiarse de estos recursos para establecer un procedimiento estándar de instalación adaptado a sus necesidades.

C. Innovación y Tecnología:

Ambas instituciones podrían discutir las innovaciones tecnológicas aplicadas en la instalación de calderas, destacando prácticas que mejoren la eficiencia y reduzcan el impacto ambiental.

La UNIMETA podría expresar su interés en adoptar tecnologías sostenibles y eficientes que se hayan implementado con éxito en la Universidad de Ambato.

D. Capacitación y Desarrollo de Protocolos:

La Universidad de Ambato podría ofrecer capacitación técnica y compartir los protocolos desarrollados para la instalación de calderas.

La UNIMETA podría aprovechar esta oportunidad para establecer procedimientos específicos y entrenar a su personal en la instalación y mantenimiento de calderas.

E. Adaptación a Realidades Locales:

Ambas instituciones podrían discutir la importancia de adaptar cualquier protocolo de instalación a las realidades locales, considerando factores como la altitud, el clima y las condiciones medioambientales específicas de sus respectivas ubicaciones.

F. Registros y Documentación:

La Universidad de Ambato podría resaltar la importancia de mantener registros detallados y documentación actualizada sobre las instalaciones de calderas.

La UNIMETA podría considerar implementar un sistema sólido de registro y documentación en ausencia de un procedimiento estándar previo.

G. Desarrollo de Protocolos Internos:

La UNIMETA podría expresar su compromiso de desarrollar internamente un procedimiento estándar de instalación de calderas, tomando en cuenta las mejores prácticas compartidas por la Universidad de Ambato.

Ambas instituciones podrían acordar una colaboración continua para el intercambio de conocimientos y el fortalecimiento mutuo en el manejo de calderas.

Esta discusión podría sentar las bases para una colaboración beneficiosa entre las dos instituciones, promoviendo el intercambio de conocimientos y la mejora continua en el manejo de calderas.

VIII. CONCLUSIONES

En el transcurso de este análisis exhaustivo de la caldera, se ha buscado proporcionar una visión detallada de una caldera con agua a presión, partiendo de un objetivo central: determinar sus características y requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento. Desde la descripción inicial de la caldera, destacando su historia y función original como componente crítico en actividades de lavandería durante la operación hotelera, hasta su ubicación actual en la universidad como una oportunidad para el estudio y desarrollo académico.

A lo largo de este proceso, se han abordado distintos aspectos de la caldera, desde su estructura física hasta su estado actual y las necesidades de mantenimiento identificadas. Cada componente, desde el quemador hasta la válvula de purga, ha sido examinado con detalle, priorizando el análisis de sus condiciones, recomendaciones de mantenimiento y su implicación en el funcionamiento general del equipo.

El objetivo de esta investigación ha sido claro: establecer los parámetros y requisitos técnicos para garantizar el óptimo rendimiento y seguridad de este equipo, mediante la revisión exhaustiva de documentación técnica disponible y la observancia de las normativas de seguridad aplicables en prácticas con equipos de potencia eléctrica.

En este contexto, la caldera se revela como un componente clave y versátil, capaz de servir como plataforma para el aprendizaje práctico en diversas ramas de la ingeniería. Su estudio detallado no solo nos ha permitido entender su funcionamiento, sino que también ha abierto puertas hacia la identificación de áreas de mejora y oportunidades de investigación para el desarrollo futuro en el ámbito académico e industrial.

Concluyendo, este estudio integral ha proporcionado una visión profunda y detallada de la caldera, destacando su importancia como equipo prototipo para el desarrollo académico e investigativo en el ámbito de la ingeniería, al tiempo que ha sentado las bases para garantizar su correcto funcionamiento y seguridad en futuros proyectos y prácticas experimentales.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. G. ANDRES JUAN and M. G. SALVADOR, *Electrónica de potencia. Componentes, topologías y equipos: componentes, topologías y equipos*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2006.
- [2] D. W. Hart, *Electrónica de potencia*. PRENTICE HALL, 2001.
- [3] J. C. M. Castillo, *Máquinas eléctricas*. EDITEX, 2021.
- [4] F. Vargas Machuca Saldarriaga, *Maquinas electricas rotativas*. Perú: Megaprint ediciones, 1990.
- [5] Sin Autor, “Máquinas eléctricas rotativas,” Mac Graw Hill.
- [6] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas, Quinta Edición*. Mexico: Mc Graw Hill, 2012.
- [7] J. L. R. Arnedo, J. E.-G. Carrasco, and S. A. Gómez, *Generadores eléctricos*: . 2021.
- [8] G. E. Harper, *Libro Práctico de Los Generadores, Transformadores y Motores Eléctricos*. Editorial Limusa, 2000.
- [9] J. I. López Torres, “Sistemas de Almacenamiento de Energía a Partir de Bancos de Baterías Para La Integración de Fuentes de Energía Renovable En Microredes En Dc,” Pdf, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA , 2015.
- [10] C. A. Bustos Cortez, “Modelo Para El Impacto de Los Sistemas de Almacenamiento de Energía En La Expansión de La Red de Transmisión,” Pdf, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, 2014
- [11] L. Milla Lostaunau, «Calderas y Turbinas de Vapor para la Generación de Energía Eléctrica», *ELECUNMSM*, n.º 19, pp. 18–26, jun. 2007
- [12] Fernández Díez, *Turbinas Hidráulicas*. Santander - España: Universidad de Cantabria, 1996
- [13] P. F. Fernández Díez, *Turbina de Gas*. Santander - España: Pefernandezdiez.es, 2008. [Online]. Available: <https://pfernandezdiez.es/es>
- [14] J. Brear, "Sistemas de Software Inteligentes en Inspección y Gestión de Vida de Plantas de Proceso y Energía", en Seminario Post Conf SMiRT 13, París, julio de 1997
- [15] Organización de las Naciones Unidas, I. Romero, and M. Paz Cristófalo, *Reporte regional - El Estado de la Generación Distribuida Solar Fotovoltaica en América Latina y El Caribe*. Pnuma, 2022, pp. 110–128.
- [16] W. Theodore, *Maquinas Electricas Y Sistemas de Potencia*. México: Pearson México, 2007.
- [17] H. A. ElDin Mohamad and M. Elkelawy, “Boilers and Steam Generation,” ResearchGate, Feb. 2019
- [18] A. Garbayo Chivite, “Generador de Vapor Portatil,” Pdf, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN , 2014

- [19] D. M. Pineda Talero and L. V. Tellez Bareño, “Elaboración de Un Generador de Vapor Como Laboratorio Programado Y de Acceso Remoto,” Pdf, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD TECNOLÓGICA TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL, 2021.
- [20] ATTSU Caldera de vapor RL - Explicación funcionamiento ESPAÑOL, (Nov. 04, 2019).
- [21] 🔥 ¿Qué es una CALDERA DE VAPOR Industrial? 🔥, (Feb. 21, 2023)
- [22] CEIM. Calderas Pirotubulares, cuidados Operacionales y Fallas, (Apr. 19, 2021)
- [23] E. Ardila Calderas Termocald
- [24] Sin autor Trabajo Calderin, "<https://studylib.es/doc/8780225/trabajo-calderin>"
- [25] “Calderas de Vapor” Calderas Continental. <https://calderascontinental.com/productos/calderas-de-vapor/#horizontal> (accessed Jun. 30, 2023)
- [26] “Calderas Pirotubulares Horizontal – Colmaquinas S.A.,” www.colmaquinas.com. <https://www.colmaquinas.com/calderas-pirotubulares-horizontal/> (accessed Jun. 30, 2023).
- [27] W. O. Perez Rojas, “Diseño Y Construcción de Un Prototipo Para Recuperación de Calor Residual En El Calderín Pirotubular de 2 Bhp Del Laboratorio de Energía de La Carrera de Ingeniería Mecánica,” Pdf, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO - Ecuador, 2021.
- [28] S. Mier Santiso, “Análisis Termodinámico Y Cálculo Básico de La Caldera Y La Torre de Refrigeración de La Central Térmica de La Robla – Grupo I,” Pdf, UNIVERSIDAD CARLOS III de Madrid - España, 2013.
- [29] UPME, Guía Técnica Para La Selección Y Operación de Sistemas de Generación de Vapor En Colombia. ONUDI, 2019. Accessed: Dec. 01, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/414/0062412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [30] J. F. Calo Lagaquiza, “Trabajo de Integración Curricular Presentado Como Requisito Para La Obtención Del Título de Ingeniero Mecánico,” PDF, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23136/1/CD%2012561.pdf>
- [31] D. A. Figueroa Estudio del comportamiento dinámico del sistema caldera-intercambiador de calor del laboratorio planta piloto mediante modelamiento matemático. [online]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/14908>.
- [32] A. H. Macz Sosa, “Monitoreo de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala,” Pdf, Universidad del Valle de Guatemala, 2013
- [33] C. F. Jiménez Acosta and J. M. Martínez Pareja, “Diseño para la instrumentación y control de una variable para la caldera del laboratorio de mecatrónica,” Pdf, Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [34] S. E. Alzamora Verastegui and A. M. Toykin Mucha, “Diseño y evaluación de un sistema de control digital para mantener constante la presión mediante la instalación de una válvula de control reguladora del flujo de gas del quemador del generador de vapor en el

[48] Republica de Colombia, “Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Calderas”, Resolución Número de 2018. 2018. [Online]. Available: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/proyecto+de+resolucion+por+la+cual+se+expide+el+reglamento+tecnico+de+calderas.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-499a99f3ad4a>

[49] UPME, “Biblioteca digital calderas,” <https://www1.upme.gov.co/>. <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?queryWP=caldera&pagenum=1&start=0&type=load&btnG=> (accessed Dec.).

[50] Republica de Colombia, Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050. 2015. Accessed: 01, . [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/Documents/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

[51] UPME, Guía Técnica Para La Selección Y Operación de Sistemas de Generación de Vapor En Colombia. Vienna International Centre P.O, 2019. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/EEI_Colombia/Guia_generacion_vapor.pdf

[52] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, “Determinación Del Potencial de Reducción Del Consumo Energético En Los Subsectores Manufactureros Códigos Ciiu 10 a 18 En Colombia.” 2014. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Estudios/2014/INFORME_III_Caracterizacion_energetica.pdf

[53] UPME, “Taller Técnico Regional “tendencias de Eficiencia Energética En El Uso de Combustibles Fósiles.” 2014. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Memorias/Tendencias_EE_combustibles_fosiles/8_EE_ternica_en_procesos_industriales_UDEA.pdf”

[54] UPME, “Ampliación Del Alcance de Los Proyectos Susceptibles de Los Beneficios Tributarios Para Proyectos de Gestión Eficiente de La Energía - Modificación al Anexo 1 de La Resolución 196 de 2020,” CIRCULAR EXTERNA No. 000024 de 2022. 2022. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/Normatividad/Circular_024_2022.pdf”

[55] E. Er, “Libro Calderas,” Eg Er - Academia.edu, Oct. 10, 2014. https://www.academia.edu/8723090/Libro_Calderas (accessed Dec. 01, 2023).

[56] “Herón de Alejandría. Un gran tecnólogo en la historia de la,” studylib.es, Nov. 17, 2016. Accessed: Dec. 01, 2023. [Online]. Available: <https://studylib.es/doc/6708127/her%C3%B3n-de-alejandr%C3%ADa.-un-gran-tecn%C3%B3logo-en-la-historia-de-la>

[57] graling07, “Microsoft Word - Capitulo_IV_principio_de_Carnot”.

[58]D. Sanpi, “ERA DOR oE CA LDER DU STR I A LES,” Dael Sanpi - Academia.edu, Oct. 27, 2019. https://www.academia.edu/40755191/ERA_DOR_oE_CA_LDER_DU_STR_I_A_LES?email_work_card=view-paper (accessed Dec. 01, 2023).

[59] J. R. J. R. S. SRL, “Caldera para Bano Sauna 1,” Jara Resistencias SRL Jara Resistencias SRL - Academia.edu, Aug. 31, 2016. https://www.academia.edu/28152423/Caldera_para_Bano_Sauna_1?email_work_card=view-paper (accessed Dec. 01, 2023).

"[60] O. OLIVARES, "DISEÑO DE CALDERAS INDUSTRIALES INDICE INTRODUCCIÓN DE CALDERAS INDUSTRIALES DEFINICIONES 1. CALDERAS 1.1 DEFINICION DE CALDERAS 1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS," OSCAR OLIVARES - Academia.edu, Aug. 06, 2015. https://www.academia.edu/14728453/DISE%C3%91O_DE_CALDERAS_INDUSTRIALES_INDICE_INTRODUCCI%C3%93N_DE_CALDERAS_INDUSTRIALES_DEFINICIONES_1_CALDERAS_1_1_DEFINICION_DE_CALDERAS_1_2_CLASIFICACI%C3%93N_DE_LAS_CALDERAS?email_work_card=view-paper (accessed Dec. 01, 2023).

"

[61] [10]C. Walsh and P. Thornley, "Lifecycle impacts and techno-economic benefits associated with the introduction of a condensing boiler to a woodchip fueled fluidized boiler," Research Explorer The University of Manchester. <https://research.manchester.ac.uk/en/publications/lifecycle-impacts-and-techno-economic-benefits-associated-with-th> (accessed Nov. 26, 2023).

[62] Eisa (2021). Energías industriales. Esquema Caldera Piro-tubular. <https://www.eisa.cl/esquema-caldera-piro-tubular/>

[63] Fonseca Maldonado, P. J. (2011). Diseño de la red de distribución de vapor para una lavandería industrial [PDF, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA]. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48136033/Diseno_de_red_de_vapor_Lavanderia-libre.pdf?1471497520=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_DE_LA_RED_DE_DISTRIBUCION_DE_VAPO.pdf

[64] P. Abarca Bahamondes, "Descripción de Calderas y Generadores de Vapor," ACHS. 2006.

[65] NBBI," The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, 2023. <https://www.nationalboard.org/Default.aspx> (accessed Nov. 27, 2023).

[66] "Ingeniería de Calderas y Maquinaria," TÜV SÜD. <https://www.tuvsud.com/es-mx/servicios/gestion-de-riesgos/ingenieria-de-calderas-y-maquinaria> (accessed Nov. 27, 2023).

[67] CALDERAS GUIAS DEL USUARIO, Reglamentación de Inspección y Seguridad en nuestros países Latinoamericanos. Argentina: Ceaca, 2020. [Online]. Available: <https://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/ediciones-digitales/calderas/calderas-ed-1-julio.pdf>

[68] A. TERMICA, "ATTSU Caldera de vapor RL - Explicación funcionamiento ESPAÑOL," YouTube. Nov. 04, 2019. Accessed: Nov. 27, 2023. [Video]. Available: <https://youtu.be/QJRaP0BDt7I>

[69] A. L. Kohan, Manual de calderas: principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas. 2000.

[70] E. Training, "Código ASME de Calderas y Recipientes de Presión (BPVC) Equipos y condiciones de seguridad," YouTube. Feb. 23, 2021. Accessed: Nov. 29, 2023. [Video]. Available: <https://youtu.be/vkIdesdamk0>

[71] “Normas, Códigos, Estándares, Prácticas Recomendadas Y Reportes Técnicos.” [Online]. Available: <https://www.arlsura.com/index.php/component/cartillasindependientes/?task=descargarFicha&f=MTM=>

[72] Comunicacion, “Intercambiadores de calor. Que son y como funcionan,” Sep. 07, 2022. <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/intercambiadores-de-calor/> (accessed Nov. 29, 2023).

[73] “McDonnell & Miller Series AF3 Air Flow Switches,” Mcdonnell & Miller, Aug. 31, 2023. <https://mcdonnell-miller.com/valves/mcdonnell-miller-series-af3-air-flow-switches/> (accessed Nov. 30, 2023).

[74] "Joseph H. Keenan, “, Fundamentals of Classical Thermodynamics,”

[75] TLV, “Calculadora: Tabla de Vapor Saturado por Presión,” TLV - Compañía Especialista en Vapor (America Latina), 2023. <https://toolbox.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-pressure.html?advanced=off> (accessed Nov. 30, 2023).

[76] “Fahrenheit a Celsius ▷ Convertidor, fórmula y todo la información,” Fahrenheit a Celsius. <https://fahrenheitacelsius.com/> (accessed Dec. 01, 2023).

[77] EXHIBIREQUIPOS, “Quemador a gas WAYNE 250.000 BTU P250AF,” Exhibir Equipos, Jun. 04, 2019. <https://exhibirequipos.com/producto/quemador-wayne-gas-p250af/> (accessed Dec. 01, 2023).

[78] Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático , Guía Práctica Para El Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (gei). Oficina Catalana del canvi climatic, 2011. [Online]. Available: <https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

[79] L. Milla Lostaunau, «Calderas y Turbinas de Vapor para la Generación de Energía Eléctrica», ELECUNMSM, n.º 19, pp. 18–26, jun. 2007.

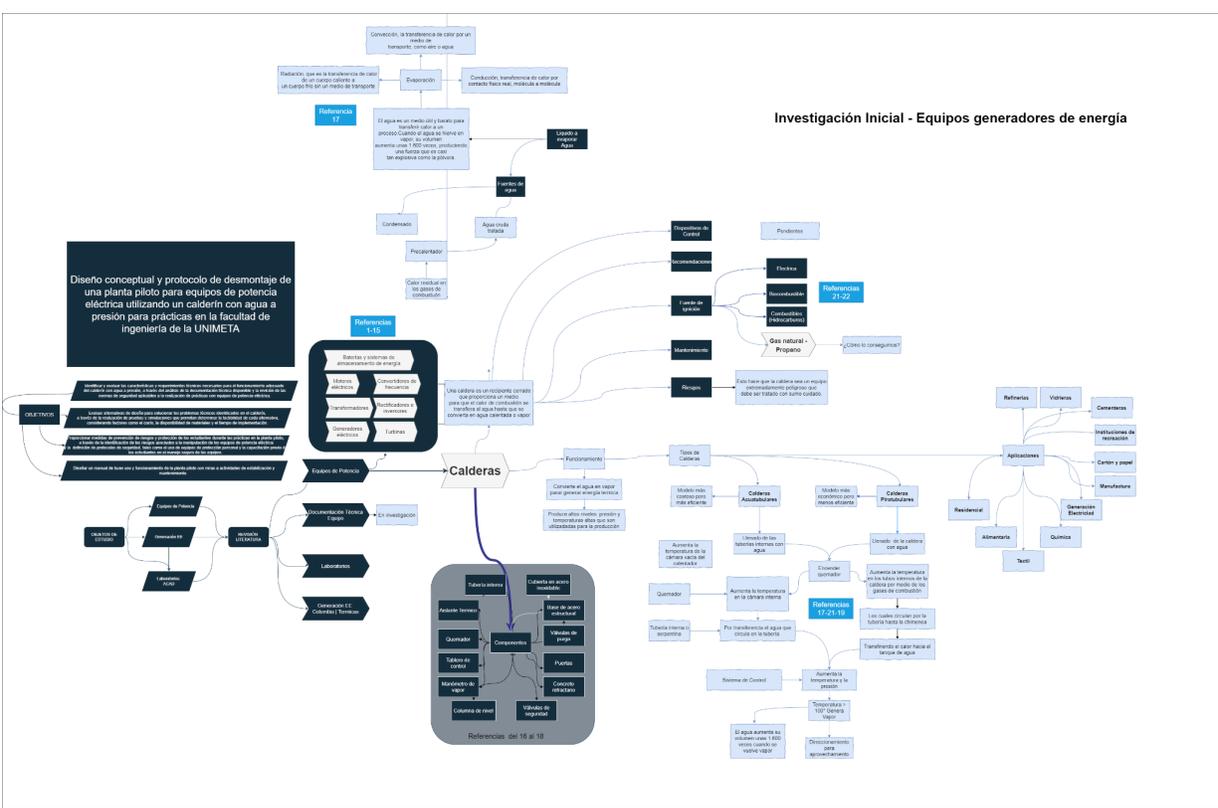
X. ANEXOS



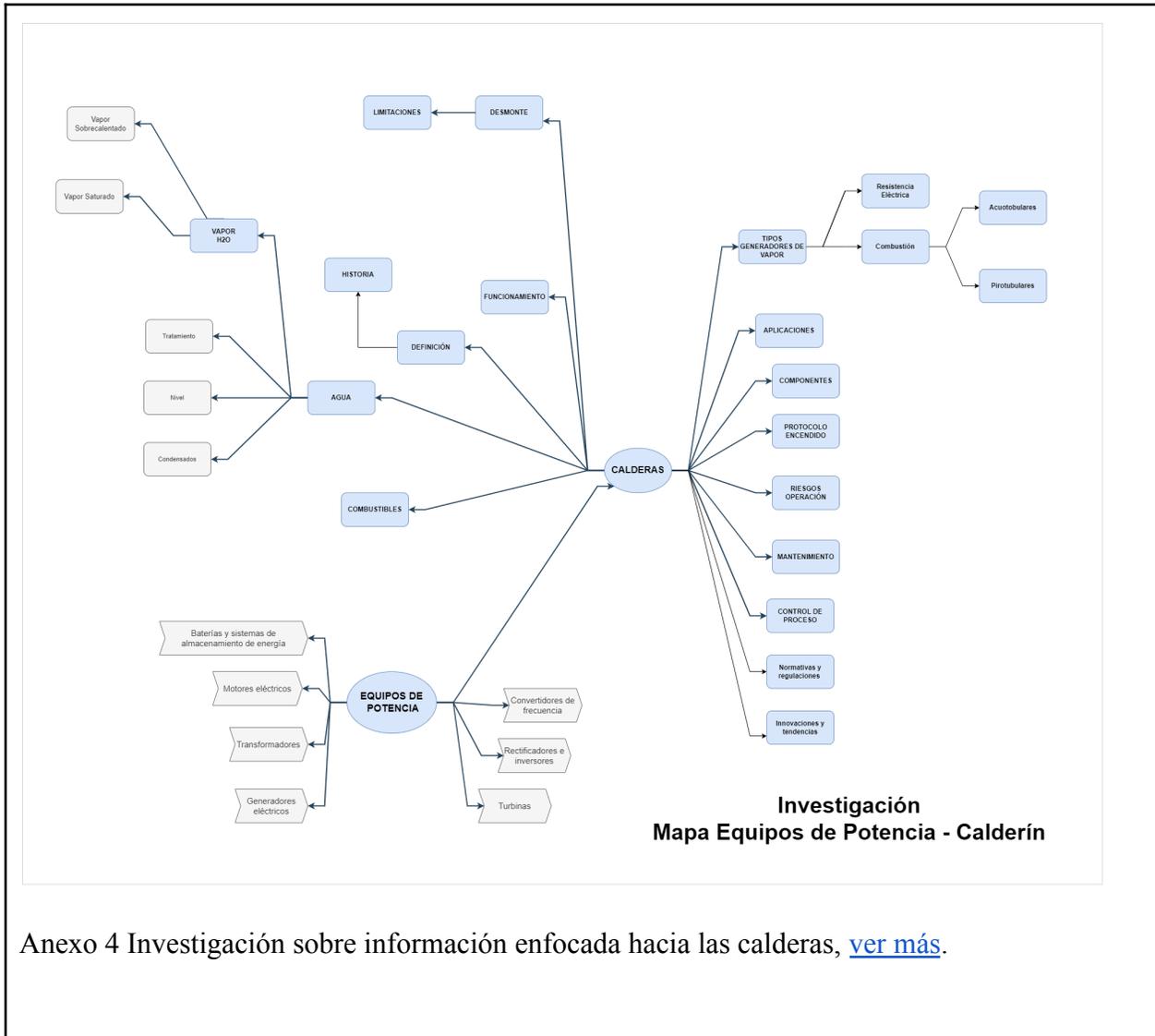
Anexo 1 Ficha electroválvula ilegible



Anexo 1 Ficha válvula de corte nos dan pistas para conocer información técnica de la caldera



Anexo 3 Investigación inicial sobre información que rodeaba las calderas, [ver más](#).



Anexo 4 Investigación sobre información enfocada hacia las calderas, [ver más](#).