



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

## **T E S I S**

**DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DEL TIEMPO Y PRESIÓN DE  
OPERACIÓN MEDIANTE LA PRODUCCIÓN CONTINUA DE  
VAPOR PARA LA CALDERA DEL LABORATORIO  
DE MÁQUINAS TÉRMICAS DE LA CARRERA  
PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA DEL CAMPUS SAN  
ANTONIO – UJCM 2018**

**PRESENTADA POR  
BACHILLER ANTHONY RENE OTAZÚ RAMOS  
BACHILLER WILLIAMS EDGAR ANCCO MENDOZA**

**ASESOR:  
ING. YURY VÁSQUEZ CHARCAPE**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2019**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Contenido.....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS .....	viii
CONTENIDO DE APÉNDICES .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema .....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación .....	2
1.5. Alcances y limitaciones .....	3
1.6. Variables.....	4

1.6.1. Operacionalización de variables.....	4
1.7. Hipótesis de la investigación .....	5
1.7.1. Hipótesis general .....	5
1.7.2. Hipótesis específicas .....	5

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas.....	10
2.3. Definición de términos .....	33

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1. Tipo de la investigación.....	35
3.2. Diseño de la investigación .....	38
3.3. Población y muestra.....	39
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	39

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Presentación de resultados.....	38
4.2. Contrastación de hipótesis .....	40
4.3. Discusión de resultados .....	42

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	43
5.2. Recomendaciones .....	44

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
APÉNDICES.....	49
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	53

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de variables .....	4
Tabla 2. Poderes caloríficos de sustancias combustibles .....	30
Tabla 3. Primera prueba realizada con agua fría .....	38
Tabla 4. Segunda prueba realizada con agua fría.....	39
Tabla 5. Tercera prueba realizada con agua caliente .....	40
Tabla 6. Comparación de pruebas .....	41

## CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Caldera de laboratorio .....	10
Figura 2. Ablandador de agua .....	17
Figura 3. Tanque de salmuera .....	17
Figura 4. Tanque de condensado.....	19
Figura 5. Calentador de agua .....	21

## CONTENIDO DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Figuras.....	49
Figura A1. Desarrollo de la prueba 1.....	49
Figura A2. Desarrollo de la prueba 2.....	49
Figura A3. Desarrollo de la prueba 3.....	50
Apéndice B. Fotografías.....	51
Fotografía B1. Instalación de tanque de agua.....	51
Fotografía B2. Fabricación de uniones.....	51
Fotografía B3. Nueva columna de nivel.....	51
Fotografía B4. Verificación de válvula de seguridad.....	52
Fotografía B5. Instalación de bomba y presostato.....	52

## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación consistió en evaluar la condición de la caldera piro tubular en la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UJCM para instalar todos los equipos faltantes y conexiones necesarias para una operación continua con el objetivo de mejorar el tiempo de producción de vapor y los niveles de presión de la caldera, se midieron ambas variables en pruebas utilizando como alimentación agua fría y agua caliente. Al finalizar las pruebas y solucionar los problemas presentados se verificó que se ha mejorado el tiempo para entrar en operación de 49 minutos a 15 minutos continua y la presión que podía alcanzar el caldero aumento de 2 PSI a 4 PSI cuando inicialmente no obteníamos resultados para medir parámetros como conclusión se aumento en 3,13 veces el tiempo para la generación de vapor.

*Palabras clave:* caldera pirotubular, mejorar, tiempo, presión, parámetros.

## **ABSTRACT**

The following research work consisted of evaluating the condition of the tubular pyro boiler in the UJCM Electrical Engineering professional career to install all the missing equipment and connections necessary for continuous operation with the aim of improving steam production time and the boiler pressure levels, both variables were measured in tests using cold water and hot water as feed. At the end of the tests and solving the problems presented, it was verified that the time to enter operation has been improved from 49 minutes to 15 minutes and the pressure that the cauldron could reach increased from 2 PSI to 4 PSI when initially we did not obtain results to measure Parameters in conclusion, the time for steam generation was increased by 3,13 times.

*Keywords:* pirotubular boiler, improve, time, pressure, parameters.

## INTRODUCCIÓN

La carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad José Carlos Mariátegui, sede Moquegua, tiene un laboratorio de máquinas térmicas donde se ubica una caldera pirotubular horizontal en condiciones donde un experto puede considerarla inoperativa, esto porque no cuenta con un sistema de alimentación, un adecuado control de nivel de agua y demora demasiado para comenzar a producir vapor.

Además de sus condiciones de funcionamiento podemos decir que no es apta para su uso en la educación ya que para dicho propósito es necesario que la caldera cuente con instrumentos de medición incorporados para su continuo control y medición de parámetros.

Es importante poner en funcionamiento la caldera para su uso en la formación de estudiantes de la escuela profesional, complementando los conocimientos teóricos con los prácticos. Además, ayudara en el licenciamiento de la universidad contando con un laboratorio más con las condiciones aceptables para la Superintendencia de Educación Superior Universitaria (SUNEDU).

Una caldera es un recipiente cerrado que proporciona un medio para la combustión y transfiere calor al agua hasta que se convierte en agua caliente o vapor. El agua caliente o el vapor a presión se pueden utilizar para transferir el calor a un proceso. El agua es un medio útil y barato para transferir calor a un proceso. Cuando el agua se hierve en vapor, su volumen aumenta aproximadamente 1600 veces, produciendo una fuerza que es casi tan explosiva como la pólvora. Esto

hace que la caldera sea un equipo extremadamente peligroso y debe tratarse con cuidado.

Conociendo los problemas presentes el siguiente trabajo consiste en evaluar con la ayuda de un experto la condición de la caldera y optar por la mejor solución. Se instalarán los accesorios necesarios y se realizarán las conexiones faltantes.

Terminadas todas las instalaciones se harán pruebas en la caldera para verificar su operatividad y las mejoras en su tiempo de operación y niveles de presión.

Con la finalización de este trabajo de investigación se descubrirán nuevos temas de investigación para mejorar el rendimiento de la caldera y entender más sobre su funcionamiento y los factores que influyen en su eficiencia.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

En la actualidad se viene presentando en el laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica la pérdida de presión al prender la caldera de vapor que se encuentra mencionada, seguido de otro gran problema que es la demora en la cual alcanza el nivel requerido de presión para poder entrar en funcionamiento.

Este problema se debe a que todos los equipos de vapor están sometidos a una diversidad de fallas que envuelven uno o más mecanismos. Pueden provenir de defectos de planteamiento o diseño, defectos de fabricación, operaciones inapropiadas y un erróneo tratamiento de agua.

La mayoría de las fallas en calderas de vapor ocurren en los componentes que están expuestos a la presión, son las tuberías y recipientes pequeños que se emplean para la transferencia de combustión en las calderas.

Generalmente este tipo de problemas se relaciona a la falta de una automatización y control requerido por dichos equipos las tuberías enfriados por agua o por vapor. Cuando el nivel de agua no es controlado ocurrirán una serie de fallas como las que se presentan ahora, y se desarrolla cerca a los colectores de vapor.

La temperatura que puede resistir el tubo se eleva por encima de los estándares de diseño durante un corto periodo ocasionando pérdidas y no una presión continua.

Evaluando dos variables que son: tiempo para entrar en operación, nivel de presión.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Es posible optimizar el tiempo y la presión de operación continua de vapor?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Se puede optimizar el tiempo de la caldera pirotubular con el pre calentamiento?

¿La presión de la caldera pirotubular mejora con el pre calentamiento?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Optimizar el tiempo y la presión de operación continua de vapor.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Investigar si el tiempo para entrar en operación se mejoró con el pre calentamiento.

Determinar si la presión del caldero mejora con el pre calentamiento.

## **1.4. Justificación**

Es importante el proyecto de mejoramiento, puesto que no posee muchas relevancias en cuanto a estudios comparativos de diferentes tipos de calderos.

Y la referencia de los valores calculados teóricamente y comparados en la práctica después del uso de sistemas automatizados e instalación de un sistema continuo podemos obtener parámetros ya calculados teóricamente. Y

posteriormente ser comparados con los resultados obtenidos en vivo; podemos tomar referencia de parámetros comparativos.

Podemos también ofrecer diferentes ventajas sobre el uso de un sistema continuo de mejora en los calderos de vapor, así también como la implementación de sistemas automatizados que nos ayuden a proteger la relación de máquina hombre que ha existido a lo largo de la historia.

Las implementaciones de estos sistemas estarán dentro de las partes críticas del caldero donde existen pérdidas de presión y no existe un control de nivel de agua. Implementando eficiencia y seguridad siendo hoy en día uno de los requerimientos para la parte industrial de nuestro amplio campo laboral.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

Se precisa los alcances metodológicos, de ubicación y tiempo en los que se enmarca el presente trabajo de investigación

Esta investigación cubre las modificaciones que serán necesarias para conseguir los objetivos trazados, lo que implica tanto la compra como instalación de equipos y accesorios para la discusión analítica solo se tomará en cuenta el tiempo y presión de trabajo antes como después de las modificaciones para verificar las posibles mejoras. Como un complemento de las variables observadas se registrarán las temperaturas del fluido de trabajo en su ingreso como salida de la caldera, con el fin de aportar con el registro de la temperatura en relación al tiempo hasta que se consiga la generación de vapor.

La duración de este trabajo se realizará en los laboratorios de la carrera profesional de ingeniería mecánica en un plazo de seis meses.

### 1.5.2. Limitaciones

El estado de la caldera se entregó sin manuales, o referencias que permitan un uso y mejoramiento certero, además que para las instalaciones faltantes como el equipamiento se necesitó la asesoría de un experto en calderas que permitió poner en marcha todos los sistemas. Y finalmente como antecedentes no se cuentan con trabajos de investigación anteriores que permitan una referencia adecuada.

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

<b>Tipo de variable</b>	<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Escala</b>
Variable independiente	Tiempo de operación	El tiempo es alguno de los parámetros con el que podemos apreciar el funcionamiento y operatividad en lo cual entra en funcionamiento el caldero, su unidad de medida se encuentra en minutos.	Min	Continuo
Variable dependiente	Presión	Es el flujo por el cual generamos vapor, fluye por las tuberías para así poder alcanzar los niveles necesarios para poner en funcionamiento la generación de vapor saturado, requerido en la caldera este valor es calculado en PSI.	PSI	Continuo

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general**

Es posible optimizar el tiempo y presión de operación continua de vapor.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas**

El tiempo para entrar en operación del caldero mejora con el pre calentamiento.

El valor de la presión de la caldera pirotubular mejora con el pre calentamiento.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Monterroso (2004) indica en su tesis denominada “Estudio y propuesta del mejoramiento de operación del sistema de generación de vapor de la empresa Maderas Milpas Altas, S.A” de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. El proyecto de tesis de grado llegó a las siguientes principales conclusiones como el hecho de que las bajas eficiencias de un sistema de concepción de vapor son producidas por el calor transmitido; y la elevación de temperatura del agua de alimentación, retornando correctamente los condensados al sistema de alimentación reduce considerablemente el calor que es necesario para elevar la temperatura a su punto de generar vapor.

Además, que la implementación de equipos que permitan recuperar los gases de combustión y purga, ayuda a mejorar la eficiencia de operación. En el sistema de generación de vapor, reduciendo los costos de operación. De ello deducimos que, para elaborar un sistema continuo de presión, que sea eficiente sin muchas pérdidas es necesario hacer un estudio con cálculos reales que nos ayuden hacer un control de pérdidas mínimas en caso podamos acercarnos a datos ideales

para mejorar la producción de vapor, en cuanto a nuestra caldera abarcar mayor espacio con una alimentación de agua propia, sensores y un controlador de nivel de agua.

Verdezoto (2011) indica en su tesis nombrada “Control predictivo generalizado de una caldera de tubos de fuego” de la Universidad Nacional Autónoma de México, México. El proyecto de tesis de maestría llegó a las siguientes principales conclusiones que, se pudo revelar que esta clase de calderas muestran un comportamiento dinámico difícil sus diferentes entradas y salidas, también como múltiples relaciones entre variables. Se pudo definir que la presión de vapor en la estructura de la caldera es una de las variables más considerable e importante de este tipo de máquinas ya que el control de la combustión se realiza mediante el correcto control de la presión de vapor.

Es importante saber que una de las principales variables que se han ido estudiando a lo largo del tiempo y que aún es un tema que no logra resolverse es la *presión*, creemos que existen diversas formas de lograr un óptimo funcionamiento en nuestro caldero de vapor, así como diferentes sistemas de control, automatización, y facilidades que podríamos implementar para llegar a datos ideales.

Punina y Arcos (2014) señala que en su tesis llamada “Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. El proyecto de tesis de grado concluyó que se ha demostrado en el diseño térmico que los valores y datos correspondientes por los fabricantes se aproximan a los valores

obtenidos mediante cálculos, asimismo con el apropiado uso de estos datos nos dará la posibilidad economizar un determinado tiempo en los cálculos de venideros proyectos semejantes.

Además, por ser una máquina térmica en la cual interactúan diferentes parámetros como la temperatura, la presión, combustión se ha tomado principal enfoque en los sistemas de control para asegurar la integridad de la persona alrededor de la máquina.

Lo que se desea con este proyecto de investigación es lograr los niveles de control que no se tienen en la actualidad, y con ello llegar a obtener un nivel de seguridad entre la persona que vaya a operar el caldero y la misma máquina. Logrando los niveles de control de presión, ingreso del agua y demás variables como el funcionamiento y eficiencia, para llegar a los estándares de operación óptimos que anhelamos.

Rodríguez (2006) señala en su tesis denominada “Desarrollo de un sistema de control avanzado de la presión de vapor en una caldera de tubos de fuego” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Se desarrolló un sistema de control predictivo generalizado para el proceso de variación de la presión del vapor en la salida de tubos de fuego. Para esto se implementó en Matlab funciones que permiten el cálculo del algoritmo de control. Así mismo, se programó los bloques necesarios para la simulación del controlador.

Con la instalación de nuevos equipos energizados y controlados por un tablero de distribución es que se logrará un control mejor de él nivel de agua en la caldera se podrá alcanzar los niveles requeridos y el tiempo de operación necesario

para generar vapor la cual es nuestra principal prioridad en el proyecto y lograr un sistema continuo.

Huamancayo (2017) señala en su tesis denominada “Análisis de un caldero pirotubular de 300 BHP, usando combustibles diésel y GLP, para mejorar la eficiencia, en la empresa Agromantaro S.A.C.” de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Que se finaliza mediante el balance energético de un caldero de vapor, tomando los valores reales de los parámetros principales, cuando esté funcionando con ambos tipos de combustibles el resultado fue cuando se usa diésel 82,18 % y la eficiencia usando GLP 87,07 % siendo claramente mayor.

Se modificará la salida de gases de la chimenea para así poder aumentar la eficiencia en la generación de vapor de un primer resultado y obtener datos después de las mejoras realizadas, equipos instalados y mejoramiento y mantenimiento de algunas partes de nuestro caldero.

Custodio y Solís (2017) señala en su tesis llamada “Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la empresa Austral Group S.A.A. – Coishco” de la Universidad Nacional del Santa, Perú, Chimbote. Primero la apreciación del sistema de restauración de calor mixto conserva el principio básico que corresponde a los cálculos de balance de masa y balance de energía, obteniendo una eficiencia de los calderos del número 1 hasta el 7 obteniendo eficiencias respectivamente de 85 %, 85,38 %, 84,99 %, 84,79 %, 84,94 %, 85,06 % y 84,86 %, lográndose cuantificar el flujo del condensado de la purga de nivel y de fondo emitida por todas las calderas pirotubulares.

Observamos que en nuestro caldero la eficiencia no logra el porcentaje elevado que deseáramos para la producción óptima de vapor, con la instalación de equipos y mejoras que le haremos a nuestro caldero haremos mediciones antes y después de las modificaciones que hagamos y sobre todo que tenga óptimos resultados y mayor producción de vapor, mejor tiempo de entrar en operación, a una presión continua.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Calderas piro tubulares para laboratorios de instrucción y aprendizaje.**

Las calderas son máquinas fabricadas para la producción de vapor. El vapor es generado por la transferencia de calor a una presión constante, donde una sustancia, en estado líquido es calentada hasta cambiar su fase a vapor saturado. (Huamancayo, 2017).

Otra manera de definir a una caldera sería es toda máquina de presión donde el calor producido por una fuente de energía es transformado en energía utilizable.



*Figura 1.* Caldera de laboratorio

En la actualidad las aplicaciones del vapor principalmente de agua tienen usos importantes por lo que la caldera es usada para generarlo en:

Desinfección, es por esto que es común encontrar calderas en los hospitales pues aquí se necesita desinfectar los instrumentos médicos con el vapor, en grandes

comedores se utiliza también para desinfectar los cubiertos, platos, etc. Y también utilizado en marmitas para la cocción de alimentos.

Calentamiento, con esto no referimos al calentamiento de sustancias como los petróleos pesados para mejorar su fluidez.

Generación de energía eléctrica, se utiliza el vapor en centrales termoeléctricas mediante turbinas de vapor.

### **2.2.2. Tipos de calderas.**

#### **2.2.2.1. Calderas acuotubulares.**

En estas calderas el agua se encuentra contenida en un sistema de haces de tubos de acero que son rodeados por las llamas y los gases de combustión. Gracias a la gran cantidad de tubos que se pueden instalar en su superficie interna, la superficie para la transferencia de calor es muy grande.

Manejan un pequeño volumen de agua y se utilizan cuando es necesario obtener elevadas presiones y rendimiento.

Para estas calderas la limpieza se hace con unos dispositivos limpiadores de tubos que quitan las incrustaciones.

Las ventajas en este tipo de calderas se nos explicaran por Pinedo y Ruiz (2017):

#### *a. Ventajas.*

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Mayor eficiencia.
- Mayor seguridad para altas presiones.

#### *b. Desventajas*

- Su costo es mayor, tanto en inversión como de operación y mantenimiento.

- Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.

#### **2.2.2.2. Calderas pirotubulares.**

En este tipo de calderas encontramos lo contrario a las acuotubulares, es decir, los gases resultantes de la combustión recorren el interior de los tubos, los cuales se encuentran rodeados por el agua para absorber el calor.

La gran cantidad de agua que puede almacenar estos equipos sirve como almacén de energía capaz de responder adecuadamente a cambios en la demanda y otorgar una mejor calidad de vapor. Estas calderas pueden ser de orientación horizontal o vertical.

Entre las ventajas y desventajas Rojas y Mazuera (2014) nos explican:

- No operan a presiones muy altas debido a que la presión que ejerce a lo largo del tambor es dos veces la fuerza ejercida alrededor de la superficie cilíndrica. Para altas presiones las paredes de la caldera deben ser muy gruesas, lo que económicamente es inviable y no justifica la inversión.
- Tiene gran capacidad de almacenamiento de agua, lo que hace que respondan a las variaciones de carga.
- Los parámetros de operación límite en este tipo de caldera están alrededor de 250 PSI y una producción de vapor de hasta 25000 lb/h.
- La eficiencia es baja en calderas muy pequeñas debido a que los gases de combustión tienen un recorrido muy corto.

### **2.2.3. Partes de una caldera piro tubular.**

Las partes comunes en una caldera piro tubular horizontal con quemador de diésel según Estrucplan (2011) como la ubicada en los laboratorios de Ingeniería Mecánica Eléctrica son:

- Columna de nivel: Permite medir el nivel de agua al interior de la caldera y en caso de que el nivel llegue a su nivel crítico apaga el quemador para evitar posibles accidentes.
- Quemador: Un quemador es un dispositivo fabricado para quemar combustibles en estado líquido, gaseoso y rara vez sólido, para producir calor mediante una flama. Este dispositivo suele contar con una bomba de combustible que se encarga de proporcionar el combustible para el quemador a una presión suficiente para que al introducirse por un tubo con una boquilla de orificio pequeño salga pulverizado, y por el efecto venturi se mezcle con el aire. Aún con esto para la ignición de la mezcla es necesario unos electrodos entre los que saltan un reguero de chispas.
- Chimenea: Ubicada en la parte superior de la caldera y tiene como función permitir que los gases resultantes de la combustión sean liberados al medio ambiente.
- El hogar o cámara de combustión: En esta parte se realiza la combustión de la caldera liberándose la energía del combustible para transferirse al agua, además es necesario que su longitud y diámetro sean los suficientes para asegurar una buena combustión y se obtenga una buena eficiencia en el caldero.

- Válvula de seguridad: Es utilizada cuando la presión alcanza niveles muy elevados en la caldera, al accionarse permite liberar la presión al interior de la caldera evitando así arriesgar la integridad de la caldera.
- El haz de tubos: Por aquí es donde circulan los gases de combustión a elevadas temperaturas luego de haber salido del hogar, formado por varios tubos de un diámetro mucho menor al del hogar.

Lo que se busca aquí es recircular los gases de la combustión en el interior de la caldera dependiendo de la cantidad de pasos de esta para transferir el calor de los gases al agua que se encuentra rodeando los tubos y el hogar.

- Tapas de registro: Toda caldera viene con una determinada cantidad de tapas distribuidas según el fabricante que sirven para revisar visualmente el interior de la caldera, y si es necesario hacer limpieza de los residuos que no hayan podido ser evacuados por las purgas.
- Cámara de agua: Es el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera el cual debe mantenerse en un nivel mínimo determinado por el fabricante del cual nunca debe bajar cuando la caldera está en operación.
- Cámara de vapor: Es el espacio restante al que ocupa el agua en el interior de la caldera donde se almacena el vapor generado.

Establecidos los conceptos básicos sobre las calderas los tipos y las principales partes de las calderas pirotubulares, se prosigue con mencionar los instrumentos de seguridad y medición que debería tener una caldera para fines de enseñanza y aprendizaje (Estrucplan, 2011).

Para mejorar la seguridad en la operación de la caldera

- Tapón fusible, tiene como función abrir un paso entre la cámara de vapor de agua, y el hogar cuando el nivel del agua cae por debajo del mínimo (cuando el agua baja la temperatura se incrementa fundiendo el material del tapón y permitiendo el acceso del vapor y el agua).
- Silbatos de alarma, se accionan cuando el nivel de agua al interior de la caldera cae por debajo del mínimo o alcance su nivel máximo.
- Válvulas de seguridad, mencionados anteriormente.

Para mejorar el control de la caldera se tienen:

- Presóstatos, son accesorios que regulan los niveles máximos y mínimos de presión a la que trabaja la caldera. Enciende o apagan el quemador dependiendo de los niveles de presión.
- Termostato, actúa sobre el quemador para apagarlo cuando se alcanza la temperatura a la que se programó.
- Control de nivel de agua, su función es mantener un rango nivel de agua determinado.
- Control de llama, corta la alimentación del combustible cuando no detecta una llama en el hogar.
- Control de la chispa, este accesorio impide el paso de combustible si no se detecta una chispa que lo encienda.

Para una adecuada limpieza se tiene:

- La puerta de inspección, permiten utilizar un brazo para realizar la limpieza en el interior de la caldera.

- Llave de purga, ubicada en el fondo de la caldera para eliminar los lodos o barros resultantes de evaporar agua dura o los desincrustantes utilizados.

Para una adecuada observación y toma de datos:

- Manómetros, es un instrumento para medir presión de fluidos en estado líquido o gaseoso, en circuitos cerrados. Miden la diferencia entre presión real y atmosférica, valor también conocido como presión manométrica.
- Analizador de gases, es un instrumento que mide la cantidad de monóxido de carbono y otros gases resultantes de la combustión, permitiendo identificar una combustión incorrecta o ineficiente.

#### **2.2.4. Sistemas de producción continua de vapor.**

Equipos complementarios para la generación de vapor:

##### ***2.2.4.1. Sistema de ablandamiento de agua para abastecer la caldera.***

El agua en su estado natural contiene elementos no deseados para la caldera como gases disueltos, sólidos disueltos, organismos vivos, sustancias orgánicas y sales disueltas. Entre las cuales principalmente las sales de calcio y magnesio son causantes de la dureza en el agua que forman las incrustaciones al interior de la caldera (Kinetico, 2019).

Con el tratamiento de agua se busca:

- Quitar materias solubles y en suspensión.
- Erradicar la presencia de gases.
- Reducir los niveles de calcio y cal.

- Proteger los metales en el interior de la caldera de la corrosión.



Figura 2. Ablandador de agua

#### **2.2.4.2. Tanque de salmuera.**

Este tanque es necesario para el funcionamiento del ablandador de agua pues aquí se almacena la sal que requiere la resina del ablandador para recuperar su capacidad de intercambio iónico (Aiqua, 2016).



Figura 3. Tanque de salmuera

#### **2.2.4.3. Tanque de condensado.**

Si el sistema de caldera no está utilizando un receptor de condensado, entonces está perdiendo la oportunidad de hacer que el sistema sea más eficiente al tiempo que mejora su vida útil.

A medida que la caldera calienta el agua, se produce una cantidad sustancial de condensación. En lugar de dejar que esta valiosa humedad simplemente se evapore, un receptor de condensado, también llamado tanque de condensado, lo captura y lo envía de vuelta a la caldera para que pueda reutilizarse. Un tanque de condensado es una parte valiosa de un sistema HVAC y sus beneficios no deben pasarse por alto.

Beneficios del tanque de condensado (RemaDrivack, 2017):

- Con un tanque de condensado, la temperatura del agua se mantiene más constante, lo que significa menores facturas de calefacción.
- Dado que el vapor se está reciclando, se necesita menos agua para mantener el funcionamiento del sistema de la caldera.
- El agua capturada por un receptor de condensado aún contiene parte del tratamiento del agua de la caldera, por lo que es necesario agregar menos químicos.
- Un receptor de condensado también puede ayudar a prevenir daños y corrosión en el equipo.
- Con un condensado industrial, puede asegurarse de que está siguiendo las estrictas regulaciones con respecto a lo que se puede drenar en el sistema de alcantarillado de su estado, lo que significa que no tendrá que preocuparse por las tarifas de incumplimiento.
- Dado que el condensado es puro, lo que significa que no contiene sólidos disueltos en el agua de la caldera, su sistema requerirá menos purga.



Figura 4. Tanque de condensado

#### **2.2.4.4. Tanque de combustible.**

El exterior debe estar protegido con anticorrosivo y es recomendable que calefaccionado con un aislamiento térmico. Un tratamiento interno de arenado o granallado es opcional.

Debe ser montado sobre una plataforma fija estable, ubicado en una zona adecuada para el abastecimiento de combustible y un acceso de purga para la limpieza de tanque (Locorp S.A, 2018).

#### **2.2.5. Accesorios de alimentación de combustible y agua para la producción continua de vapor.**

##### **2.2.5.1. Bombas de alimentación de agua.**

Son bombas diseñadas para suministrar agua a las calderas. Estas suelen ser accionadas por un controlador de nivel en la caldera. Estos extraen agua tanto de tanques atmosférico o presurizados (Armstrong International Inc, 2018).

Los beneficios de utilizar bombas para alimentar la caldera son:

- Evitar que los calderos más pequeños queden secos.
- Cuando la temperatura del agua de alimentación se eleva evita un choque térmico en la unidad de alimentación para la caldera.

- Ayudará a ahorrar energía y elevará la eficiencia de funcionamiento al subir la temperatura en el agua de alimentación.

#### **2.2.5.2. Bomba de combustible.**

Se emplea para llevar el combustible desde el tanque hacia el quemador e introducirlo a presión para el proceso de combustión.

#### **2.2.5.3. Tanque de agua.**

Se llama así a cualquier depósito fabricado para usarse dentro de varias décimas de presión atmosférica. Estos tanques pueden mantenerse cerrados o abiertos, los comunes tienen como forma un cilindro vertical y un fondo plano.

Los tanques abiertos se usan cuando se almacena sustancias que no se dañaran con el agua, el clima o los contaminantes presentes en la atmósfera. Caso contrario será necesario que tenga tejados fijos o flotantes.

Los tejados fijos son normalmente escalonados o de cúpula. Estos requieren de ventilación para impedir cambios de presión, que se ocasionaran por alteraciones en la temperatura o la adición o retiro de líquido.

Para el diseño y construcción de tanques atmosféricos hechos de acero hay normas y recomendaciones, según el líquido que se quiere almacenar. Dependiendo del líquido y la capacidad de diseño se puede optar por una coraza remachada o soldada.

En el caso de solo almacenar agua se pueden utilizar tanques de concreto pre esforzado, siendo un diseño más económico (Haléco Ibéria SL, 2017).

#### **2.2.5.4. Calentador de agua.**

Los calentadores de agua sirven para satisfacer una necesidad de agua caliente. Compuestos por un tanque de almacenamiento cilíndrico, dentro del cual se

incorpora un elemento calefactor. Todo rodeado por un aislamiento térmico de fibra de vidrio para mantener la temperatura. El proceso de calentamiento se realiza mediante unos serpentines por los que circula el vapor obtenido en la caldera. (Tecvain, 2013).



Figura 5. Calentador de agua

## **2.2.6. Productividad esperada de una caldera pirotubular.**

### **2.2.6.1. Eficiencia de las calderas.**

Es un hecho bien conocido que el costo inicial de la caldera es una pequeña parte de los costos totales asociados con la caldera durante su vida útil. En la vida operativa de una caldera, los costos mayores surgen de los costos de combustible. Asegurar el funcionamiento eficiente de la caldera es fundamental para optimizar los costos de combustible.

No siempre es cierto que una caldera funcione con su eficiencia nominal. Casi todas las veces, se ha encontrado que las calderas funcionan a una eficiencia mucho menor que la nominal si no se realiza un monitoreo de eficiencia adecuado (Monterroso, 2014).

#### ***2.2.6.2. Eficiencia de combustión.***

La eficiencia de combustión de una caldera es la indicación de la capacidad del quemador para quemar combustible. Los dos parámetros que determinan la eficiencia del quemador son las cantidades de combustible sin quemar en el escape y los niveles de oxígeno en exceso en el escape. A medida que aumenta la cantidad de aire en exceso, disminuye la cantidad de combustible sin quemar en el escape. Esto resulta en una reducción de las pérdidas de combustible sin quemar, pero elevando las pérdidas de entalpía. Por lo tanto, es muy importante mantener un equilibrio entre las pérdidas por entalpía y las pérdidas no quemadas. La eficiencia de combustión también varía con el combustible que se está quemando. La eficiencia de combustión es mayor para los combustibles líquidos y gaseosos que para los combustibles sólidos (Electro Industria, 2009).

#### ***2.2.6.3. Eficiencia térmica.***

La eficiencia térmica de una caldera especifica la efectividad del intercambiador de calor de la caldera que en realidad transfiere la energía térmica del lado del fuego al lado del agua. La eficiencia térmica se ve gravemente afectada por la formación de incrustaciones / formación de hollín en los tubos de la caldera (Forbesmarshall, 2019).

#### ***2.2.6.4. Eficiencia directa e indirecta de la caldera.***

La eficiencia global de la caldera depende de muchos más parámetros además de la combustión y la eficiencia térmica. Estos otros parámetros incluyen las pérdidas ON-OFF, las pérdidas por radiación, las pérdidas por convección, las pérdidas por purgado, etc. En la práctica real, comúnmente se utilizan dos métodos para

determinar la eficiencia de la caldera, a saber, el método directo y el método indirecto de cálculo de la eficiencia (Forbesmarshall, 2019).

*a. Eficiencia directa.*

Este método calcula la eficiencia de la caldera utilizando la fórmula de eficiencia básica:

$$\eta = (W) / (Q_C) \times 100 \dots \dots \dots [Ecuación 1]$$

Donde:

W = salida de energía (W)

Q<sub>C</sub> = entrada de energía (W)

η = eficiencia (%)

Para calcular la eficiencia de la caldera por este método, dividimos la salida de energía total de una caldera por la entrada de energía total dada a la caldera, multiplicada por cien (Forbesmarshall, 2019).

*b. Eficiencia indirecta.*

$$E = [Q (Hh) / q \times GCV] \times 100 \dots \dots \dots [Ecuación 2]$$

Donde:

Q = cantidad de vapor generado (kg/h)

H = entalpía de vapor (kcal/kg)

h = entalpía de agua (kcal/kg)

GCV = valor calorífico bruto del combustible.

La eficiencia indirecta de una caldera se calcula al conocer las pérdidas individuales que tienen lugar en una caldera y luego restar la suma del 100 %. Este método implica descubrir las magnitudes de todas las pérdidas medibles que tienen lugar en una caldera mediante mediciones separadas. Todas estas pérdidas se suman

y se restan del 100 % para averiguar la eficiencia final. La válvula de purga se mantiene cerrada durante el procedimiento. Este método debe implementarse según las normas provistas en los estándares BS845. Las pérdidas calculadas incluyen pérdidas por apilamiento, pérdidas por radiación, pérdidas por purgado, etc. (Forbesmarshall, 2019).

#### ***2.2.6.5. Comparación de eficiencia directa e indirecta.***

Los dos métodos para conocer la eficiencia de la caldera mencionados anteriormente tienen algunas ventajas y algunas desventajas asociadas con ellos. La mayor ventaja del método indirecto es que también habla sobre las fuentes de pérdidas. Al descubrir la eficiencia indirecta, uno puede saber dónde aumentan las pérdidas y cómo pueden reducirse. Por otro lado, los valores de eficiencia directa están más cerca de la realidad en comparación con la eficiencia indirecta debido a las pérdidas no cubiertas, como las pérdidas por radiación, las pérdidas por encendido y apagado, etc. Pero la eficiencia directa solo puede informarnos acerca de la magnitud de la pérdida general. Ninguna información sobre las pérdidas individuales y sus magnitudes se transmite desde el cálculo de la eficiencia directa. Siempre existe alguna diferencia en los valores de las eficiencias directas e indirectas.

#### ***2.2.6.6. Monitoreo de la eficiencia en tiempo real.***

La eficiencia de la caldera no permanece fija y se producen grandes variaciones de los valores ideales durante el curso de la operación. El cambio al monitoreo de la eficiencia en tiempo real puede mejorar la eficiencia de la caldera de manera significativa dependiendo del tipo de caldera y las condiciones reales en el sitio. En pocas palabras, monitorear y mantener la eficiencia de la caldera para la vida útil

general de la caldera es una necesidad para reducir las facturas de combustible y reducir la huella de carbono (Forbesmarshall, 2019).

#### ***2.2.6.7. Parámetros que influyen en la eficiencia.***

Luego de revisar información consideraremos los siguientes puntos (Monterroso, 2014).

- La eficiencia varía mucho en base al nivel real del exceso de aire. Cuando se opera la caldera con un nivel muy bajo de exceso de aire las pérdidas de eficiencia son reducidas al mínimo ya que la cantidad de aire innecesario que se calienta a la temperatura de chimenea y es expulsado a disminuido. Así minimizando al mínimo el exceso de aire se disminuyen las pérdidas en los gases secos de chimenea pues no solo reduce la cantidad de gases expulsados, también reduce su temperatura.
- La temperatura de los gases en la chimenea es mejor mantener al mínimo la temperatura de los gases de combustión para maximizar la eficiencia de la caldera.
- Las principales causas de una temperatura elevada en los gases de combustión son una superficie insuficiente para la transmisión de calor y/o la presencia de suciedad en estas superficies. Es posible aumentar el área de transferencia de calor instalando un pre calentador de aire.
- La temperatura del agua de alimentación, se incrementará la eficiencia si elevamos la temperatura del agua que ingresa a la caldera. Incrementar la temperatura del agua de alimentación aumentaría el rendimiento en aproximadamente un 1 %.

- Temperatura en el aire de combustión, calentar el aire para la combustión incrementara la eficiencia, instalando un precalentador se puede elevar la temperatura del aire recuperando el calor de desecho en los gases de combustión.
- Presencia de suciedad en las superficies de transmisión de calor, la presencia o depósitos de suciedad en las superficies externas de los tubos en una caldera pirotubular impiden la transmisión de calor de los gases de combustión hacia el agua de la caldera reduciendo su eficiencia.
- Purga, representa una pérdida porque al desechar agua caliente también energía. Este es un proceso normal para eliminar las impurezas en el interior de la caldera que causan incrustación e influye en la calidad del vapor. Por otro lado, es posible recuperar una parte de la energía desechada a través de la extracción continua del agua purgada. A través de este proceso el vapor instantáneo derivado del agua es devuelto al agua de alimentación para la caldera.
- Presión de vapor, en instalación donde es viable reducir la presión del vapor se aumenta la eficiencia ahorrando entre el 1 al 2 % de combustible.
- Pérdidas de calor en el exterior de la caldera, estas pérdidas se dan por radiación y convección en la superficie de la caldera, puede considerarse como una pérdida esencial de eficiencia para las calderas actuales. Lamentablemente estas pérdidas son muy difíciles de tratar por un tema económico. Además, la pérdida en la superficie de la caldera se incrementará.

## **2.2.7. Tiempo y presión de operación de una caldera pirotubular.**

### ***2.2.7.1. Tipos de combustible.***

Los combustibles son materiales que reaccionan con otras sustancias para liberar calor por medio de energía química o nuclear (Soto, 1996):

- Las sustancias que reaccionan con otras sustancias próximas para liberar energía, a través del proceso de combustión, se conocen como combustibles químicos. Estos se dividen tanto por sus propiedades físicas (como sólido, líquido o gas), como por cómo ocurren (como combustible primario o natural, o como combustible secundario o artificial). Las sustancias que pueden liberar energía nuclear por fisión o fusión se conocen como combustibles nucleares.

Los humanos utilizaron la madera por primera vez como combustible para la combustión hace casi dos millones de años. Las fuentes de combustible más comunes hoy en día son los hidrocarburos.

#### *a. Combustible sólido.*

Los materiales sólidos se pueden usar como combustible para quemar y liberar energía a través de la combustión, que proporciona calor y luz. Los ejemplos más comunes de combustibles sólidos son: (WordPress, 2012)

- Madera: incluye leña, carbón, astillas de madera, pellets, aserrín, etc.
- Carbón de leña: Producido por calentamiento de leña en ausencia de oxígeno.
- Biomasa: materiales vegetales naturales, como el trigo, la paja y otros materiales fibrosos.
- Turba: materia orgánica y vegetación en descomposición que puede ser quemada cuando está seca.
- Carbón: roca sedimentaria combustible.

- Coque: material alto en carbono derivado del carbón.
- Residuos: los residuos cotidianos se pueden convertir en una fuente de combustible siempre que no contengan materiales tóxicos.

*b. Combustible líquido.*

Los líquidos pueden usarse para crear energía mecánica, aunque son los vapores más que el líquido de los combustibles líquidos lo que es inflamable. Los combustibles fósiles representan la mayoría de los combustibles líquidos (DesigningBuildings, 2019).

*- Petróleos.*

El tipo más común de combustible líquido es el petróleo, formado a partir de plantas y animales muertos. Ejemplos de petróleo incluyen:

- Gasolina / gasolina: Se produce al eliminar el petróleo crudo del petróleo y destilarlo en las refinerías.
- Diesel: una mezcla de hidrocarburos alifáticos extraídos del petróleo y procesados para reducir el nivel de azufre.
- Keroseno: Extraído del petróleo.

*c. Gas natural y gas licuado de petróleo.*

El gas natural se puede comprimir para formar un líquido y es mucho más “limpio” que otros combustibles de hidrocarburos. Sin embargo, para mantener el combustible en estado líquido se requiere una presión alta y constante.

El gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de propano y butano, y se comprime más fácilmente que el gas natural. (DesigningBuildings, 2019)

- *El biodiesel.*

Este es un combustible diésel basado en aceite vegetal o grasa animal, aunque produce alrededor de un 10 % menos de energía que el diésel convencional.

Alcoholes, los tipos más comunes de combustibles de alcohol son:

Metanol, producido a partir de metano, el metanol es la forma más simple y liviana de alcohol.

Etanol, se encuentra más comúnmente en las bebidas, pero se puede combinar con gasolina para usar como combustible.

Butanol, generalmente producido por la fermentación de biomasa utilizando bacterias, el butanol tiene un alto contenido de energía.

Hidrógeno, se usa comúnmente como combustible líquido para cohetes. Se requieren grandes volúmenes de hidrógeno para una combustión exitosa.

#### ***2.2.7.2. Valores caloríficos de los combustibles.***

El contenido de energía o el valor calorífico es el mismo que el calor de combustión, y puede calcularse a partir de valores termodinámicos, o medirse en un aparato adecuado.

Una cantidad conocida de combustible se quema a presión constante y en condiciones estándar (0 °C y 1 bar) y el calor liberado se captura en una masa de agua conocida en un calorímetro. Si se miden las temperaturas iniciales y finales del agua, la energía liberada se puede calcular utilizando la ecuación.

La siguiente tabla muestra algunos combustibles en sus fases l = líquido y g = gaseoso.

**Tabla 2***Poderes caloríficos de sustancias combustibles*

<b>Combustible (fase)</b>	<b>Poder calorífico superior (kJ/kg)</b>	<b>Poder calorífico inferior (kJ/kg)</b>
Acetileno (g)	49 970	48 280
Benceno (l)	41 800	40 100
Diésel ligero (l)	46 100	43 200
Diésel pesado (l)	45 500	42 800
Etano (g)	51 900	47 520
Etanol (l)	29 670	26 810
Gas natural (g)	50 000	45 000
Gasolina (l)	47 300	40 000
Metano (g)	55 530	50 050
Octano (l)	47 890	44 430
Propano (l)	50 330	46 430
Hidrogeno (l)	141 800	120 000

Fuente: Cengel y Boles, 2015

**2.2.7.3. La combustión.**

La combustión es una reacción química entre sustancias, generalmente incluyendo oxígeno y generalmente acompañado por la generación de calor y luz en forma de llama, la velocidad a la que se combinan los reactivos es alta, en parte debido a la naturaleza de la propia reacción química y en parte porque es más se genera energía que puede escapar al medio circundante, con el resultado de que la temperatura de los reactivos se eleva para acelerar aún más la reacción (Cengel y Boles, 2015).

Se requieren tres cosas en una combinación adecuada antes de que se produzca la ignición y la combustión: calor, oxígeno y combustible.

- Debe haber combustible para quemar.
- Debe haber aire para suministrar oxígeno.

- Debe haber calor (temperatura de ignición) para iniciar y continuar el proceso de combustión.

Durante la combustión, se crean nuevas sustancias químicas a partir del combustible y el oxidante. Estas sustancias se llaman escape. La mayor parte del escape proviene de combinaciones químicas del combustible y el oxígeno. Cuando se quema un combustible a base de hidrógeno-carbono (como la gasolina), el escape incluye agua (hidrógeno + oxígeno) y dióxido de carbono (carbono + oxígeno).

Pero el escape también puede incluir combinaciones químicas del oxidante solo. Si la gasolina se quema en el aire, que contiene 21 % de oxígeno y 78 % de nitrógeno, el escape también puede incluir óxidos nitrosos (NOX, nitrógeno + oxígeno). La temperatura del escape es alta debido al calor que se transfiere al escape durante la combustión. Debido a las altas temperaturas, el escape generalmente se produce como un gas, pero también puede haber productos de escape sólidos o líquidos. El hollín, por ejemplo, es una forma de escape sólido que se produce en algunos procesos de combustión (Punina y Arcos, 2014).

#### ***2.2.7.4. El agua blanda.***

Es agua que está libre de sales disueltas, de metales como el calcio, el hierro o el magnesio, que forman depósitos insolubles. El principal problema de esta agua es que forma depósitos de carbonato de calcio en las paredes de las tuberías, aun más si están a altas temperaturas, provocando así la obstrucción de las tuberías y reduciendo su eficiencia (Kinetico Water Systems, 2019).

Para evitar esto se trata el agua en el sistema de ablandamiento de agua antes de ingresar a la caldera.

#### **2.2.7.5. Presiones en la caldera.**

##### *a. Presión de consumo.*

Es la presión que debe tener el vapor a la salida de la caldera y es determinada por el uso que se le dará al vapor.

##### *b. Presión de operación.*

Es la presión a la que debe operar normalmente una caldera para una operación segura. Está definida por seguridad en un margen del 50 – 100 % de la presión de consumo.

##### *c. Presión de diseño.*

Es el valor tomado para el diseño de los elementos sometidos a presión. Esta determinada en margen del 50 - 100 % de la presión de operación.

##### *d. Presión de trabajo máxima.*

Es la máxima presión que el equipo puede soportar, según principios fijados por las ASME. Se fija un rango de seguridad entre la presión de diseño y la presión de trabajo máxima.

##### *e. Prueba hidrostática.*

Es una prueba de hermeticidad y resistencia que debe realizarse en los equipos a presión, los equipos deben soportar un 150 % de la presión de trabajo máxima.

#### **2.2.7.6. Características de la carga.**

Es necesario determinar:

- Carga mínima
- Duración de cada una de las fases de la carga.
- Factor de la carga.
- Naturaleza (constante o intermitente).

Durante el diseño se fija la capacidad de la caldera para poder sostener una carga normal y mantener una eficiencia alta, así como abastecer una demanda alta y los cambios bruscos en la carga.

Además, se determina también las pérdidas cuando trabaja en vacío y el tiempo que demora el equipo en calentarse hasta producir vapor a toda su capacidad (García, 2013).

### **2.3. Definición de términos**

#### **2.3.1. Calor.**

Es la transferencia de energía de un cuerpo o sistema a otro, esto se da, cuando se hallan diferencias de temperatura entre los cuerpos o sistemas.

#### **2.3.2. Transferencia de calor.**

Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura, la transferencia de calor proporciona los métodos de análisis que se pueden utilizar para determinar la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo.

#### **2.3.3. Vapor.**

El vapor en las calderas se mantiene a la misma temperatura que el agua hirviendo en ellas, este vapor contiene una pequeña cantidad de humedad y se llama vapor saturado.

#### **2.3.4. Evaporación.**

Es el cambio físico de la fase líquida a la fase de vapor, que tiene lugar exclusivamente en la superficie libre del líquido. Ejemplo: la evaporación del agua en el mar.

### **2.3.5. Condensación.**

Es el cambio de estado de forma gaseosa a forma líquida, el proceso contrario a la vaporización.

### **2.3.6. Granallado.**

Es una técnica para alisar o eliminar materiales contaminantes de una superficie aplicando agua o aire a alta presión.

### **2.3.7. Convección.**

Es una de las maneras de transportar calor entre zonas de diferente temperatura y solo se puede producir si hay un material, vapor o algún fluido como medio.

### **2.3.8. Entalpía.**

Conocida como una magnitud termodinámica y es el flujo de energía térmica que un sistema termodinámico puede intercambiar con su entorno.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo tecnológica aplicada por cuanto permite emplear conocimientos o métodos direccionados al sector industrial productivo de bienes y servicios, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente, y con el fin de obtener productos nuevos y competitivos en dicho sector. Sus productos pueden ser prototipos y eventualmente artículos científicos publicables.

Para producir nuevos materiales, productos o dispositivos, instalar nuevos procesos, sistemas o servicios o de mejorar de forma sustancial aquellos ya instalados o producidos. Su propósito es solucionar problemas prácticos y comparar resultados antes y después de dichos mejoramientos, de acuerdo al avance tecnológico, para brindar una nueva utilidad del conocimiento en lo que respecta la ingeniería.

#### **3.2. Diseño de investigación la investigación**

Nuestra investigación corresponde a un diseño pre experimental, como se explicó en la matriz del informe se trata del diagnóstico y el mejoramiento del tiempo y presión de operación mediante la producción continua de vapor para la caldera del laboratorio de máquinas térmicas.

### **3.3. Población y muestra**

En el presente trabajo de investigación no se cuenta con población ni muestra, por ser un tema de estudio que se trata a un solo elemento y sus aplicaciones. Por lo tanto, el trabajo de investigación será desarrollado bajo esa perspectiva. Se debe resaltar que mayormente en trabajos de índole social es que se recurre a trabajar con una población y una muestra.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos.**

Luego de haberse evaluado y definido la compra de los accesorios necesarios para el funcionamiento de la caldera, y los instrumentos de medición para pruebas de laboratorio se instaló lo siguiente.

#### **3.4.1. Columna de nivel de agua.**

Elemento de control de agua dentro de caldera el mismo que está diseñado para emitir señales cuando el nivel de agua se encuentre bajo, esta señal da arranque a la bomba de agua, para alimentar de líquido al caldero, este elemento está previsto de un visor de tubo de vidrio el cual nos permite constatar de manera física el nivel real del agua (ver fotografía B3 en el apéndice B).

#### **3.4.2. Tobera de quemador.**

Se cambió una tobera de 1,8 x 45° por una de 2 x 65° para mejorar la combustión y reducir el tiempo de producción de vapor.

#### **3.4.3. Termómetro bimetalico.**

Para medir la temperatura de los gases de combustión al inicio de la chimenea.

#### **3.4.4. Sensores de temperatura.**

Ubicados en la alimentación de agua y en la salida de vapor, permitiendo conocer la temperatura del agua que entra a la caldera y la del vapor que se va generando.

#### **3.4.5. Presostatos.**

Instalado en el tanque hidroneumático para mantener una presión mínima de 20 PSI en el sistema de alimentación de agua.

#### **3.4.6. Bombas de alimentación de agua.**

Una bomba a la salida del tanque de agua para dar presión hacia el tanque hidroneumático; y la segunda para llevar el agua del tanque de condensado hacia la caldera (ver fotografía B5 en el apéndice B).

#### **3.4.7. Tanque de agua.**

Necesario para el funcionamiento de la bomba que da presión al sistema de alimentación de agua (ver fotografía B1 en el apéndice B).

#### **3.4.8. Manómetro.**

Se colocaron dos manómetros, uno para medir la presión del vapor en el distribuidor. Y el segundo para ver la presión del agua en la entrada de la caldera.

#### **3.4.9. Electroválvula.**

Instalando para abrir y cerrar el paso de vapor hacia el calentador de agua.

En las fotografías B2 y B4 del apéndice B se pueden visualizar algunas de las comprobaciones y conexiones realizadas durante la evaluación de la caldera. De todos los accesorios e instrumentos mencionados, para efectos de la recolección de datos se usarán:

- Manómetro
- Sensores de temperatura

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados

Terminada la instalación, se realizaron tres pruebas para verificar el tiempo para entrar en operación y la presión alcanzada del vapor, presentadas a continuación en las siguientes tablas tabla 3, tabla 4 y tabla 5.

##### 4.1.1. Prueba uno.

Se realiza la prueba de la caldera para verificar el correcto funcionamiento de los accesorios e instrumentos instalados en la caldera obteniendo los siguientes datos.

**Tabla 3**

*Primera prueba realizada con agua fría*

<b>Hora</b>	<b>Tiempo de operación (min)</b>	<b>Temperatura de agua en caldero (°C)</b>	<b>Temperatura de los gases (°C)</b>	<b>Temperatura de vapor (°C)</b>	<b>Presión en caldera (PSI)</b>
6:35 p.m.	0	20	20	20	-
6:50 p.m.	15	30	90	20	0
7:05 a.m.	30	47	110	21	0
7:20 p.m.	45	63	126	61	0
7:30 p.m.	60	71	135	103	0
7:37 p.m.	67	81	144	116	10
7:47 p.m.	77	80	110	116	12
7:53 p.m.	83	78	0	115	12
8:03 p.m.	93	68	139	106	15
8:13 p.m.	103	80	143	111	28
8:20 p.m.	110	8	133	115	20

Como resultado de esta prueba se pudo observar que se necesitaba instalar una válvula a la salida de la bomba para su purga, debido a que la capacidad del tanque de condensado no da suficiente caudal para alimentar la bomba provocando que algunas veces la bomba comience a cavitarse.

#### 4.1.2. Prueba dos.

Luego de haberse solucionado los problemas presentados durante la prueba uno se realiza una prueba con agua fría y los datos tomados cada cinco minutos.

**Tabla 4**

*Segunda prueba realizada con agua fría*

<b>Hora</b>	<b>Tiempo de operación (min)</b>	<b>Temperatura de agua en caldero (°C)</b>	<b>Temperatura de los gases (°C)</b>	<b>Temperatura de vapor (°C)</b>	<b>Presión en caldera (PSI)</b>
4:31 p.m.	0	24	48	-	-
4:36 p.m.	5	28	75	-	-
4:41 p.m.	10	42	90	-	-
4:46 p.m.	15	51	95	-	-
4:51 p.m.	20	62	105	-	-
4:56 p.m.	25	70	110	-	-
5:01 p.m.	30	78	115	-	-
5:05 p.m.	34	89	125	-	-
5:10 p.m.	39	96	130	-	-
5:15 p.m.	44	102	132	-	-
5:20 p.m.	49	103	135	101	2
5:25 p.m.	54	107	140	111	10
5:30 p.m.	59	116	145	123	16
5:35 p.m.	64	121	150	123	22
5:40 p.m.	69	128	155	130	32
5:45 p.m.	74	135	160	137	40
5:50 p.m.	79	139	165	142	48
5:51 p.m.	80	140	165	144	50

### 4.1.3. Prueba tres.

Se realiza una tercera prueba utilizando el agua aun tibia para evaluar en cuanto se reduce el tiempo de operación para producir vapor.

**Tabla 5**

*Tercera prueba realizada con agua caliente*

<b>Hora</b>	<b>Tiempo de operación (min)</b>	<b>Temperatura de agua en caldero (°C)</b>	<b>Temperatura de los gases (°C)</b>	<b>Temperatura de vapor (°C)</b>	<b>Presión en caldera (PSI)</b>
9:16 a. m.	0	81	62	30	-
9:21 a. m.	5	88	105	30	-
9:26 a. m.	10	98	120	31	-
9:31 a. m.	15	104	125	36	4
9:36 a. m.	20	108	130	49	12
9:41 a. m.	25	111	135	110	18
9:46 a. m.	30	117	140	122	22
9:51 a. m.	35	125	150	129	30
9:54 a. m.	38	132	150	133	34

## 4.2. Contrastación de hipótesis

### 4.2.1. Sobre la hipótesis general.

H1: Es posible optimizar el tiempo y la presión de operación continua de vapor.

H0: No es posible optimizar el tiempo y la presión de operación continua de vapor.

En análisis de los resultados observados en este capítulo con las pruebas 2 y 3 se demuestra que se cumple la hipótesis alternativa, resultando en una reducción significativa del tiempo en que la caldera comienza a producir vapor.

#### 4.2.2. Sobre la primera hipótesis específica.

H1: El tiempo para entrar en operación del caldero mejoró significativamente con el pre calentamiento.

H0: El tiempo para entrar en operación del caldero no mejoró significativamente con el pre calentamiento.

Con los resultados de las pruebas 2 y 3 se verifica que la generación de vapor con agua fría se lleva a cabo en un tiempo de 49 minutos y con el agua precalentada, se lleva a cabo en un tiempo de 15 minutos quedando así demostrada la hipótesis alternativa obteniendo una reducción de 34 minutos

#### 4.2.3. Sobre la segunda hipótesis específica.

H1: El valor de la presión de la caldera pirotubular mejora con el pre calentamiento.

H0: El valor de la presión de la caldera pirotubular no mejora con el pre calentamiento.

De los resultados obtenidos en las pruebas 2 y 3 queda comprobada la hipótesis alternativa alcanzando mayores valores de presión en un menor tiempo de operación.

**Tabla 6**

*Comparación de pruebas*

	<b>Agua fría</b>	<b>Agua precalentada</b>
Tiempo de operación (min)	49	15
Presión en caldera (PSI)	2	4

### **4.3. Discusión de resultados.**

El tiempo para entrar en operación se ha reducido a 49 minutos cuando se empieza con el agua de alimentación fría; cuando se usa agua caliente el tiempo se reduce a 15 minutos. Esto se debe a que el agua con una mayor temperatura ya no necesita de mucho calor extraído de los gases de combustión reduciendo así el tiempo en alcanzar su temperatura de ebullición y producir vapor.

El sistema de agua alimentación de agua continua permite alimentar la caldera de agua automáticamente cuando su nivel descienda y el agua de alimentación va aumentando su temperatura con el tiempo gracias al vapor recibido en el calentador de agua.

Finalmente, gracias al sistema de alimentación de agua y su mejora en el tiempo de producción de vapor es posible alcanzar la máxima presión de vapor en la caldera hasta su apagado de seguridad, lo cual no era posible en las condiciones en la que se operó inicialmente a la caldera.

En cuanto a lo que dice Verdezoto (2011) en su tesis de acuerdo a la presión es una de las variables mas considerable e importante en este tipo de máquinas ya que el control de la combustión se realiza bajo un correcto manejo en la presión de vapor, que es generado por nuestra caldera con datos reales y tomados para la muestra de nuestros resultados antes y después de la implementación de todos los sistemas de control y sistemas automatizados.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Se comprobó que el tiempo de operación se redujo de 47 a 15 minutos, lo que se acompaña con una elevación de presión de operación de 2 a 4 PSI.

**Segunda.** El tiempo para entrar en operación continua de vapor se ha reducido en 3,13 veces dada la presencia del sistema de precalentamiento esto se pudo comprobar con los resultados de las pruebas realizadas ayudado también debido a los nuevos equipos y accesorios.

**Tercera.** La presión del caldero ha mejorado y alcanza su valor máximo a 4 PSI, que es la presión de trabajo en la que se inicia la generación de vapor gracias a que el sistema de alimentación de agua se da a mayor temperatura a la entrada de la bomba, la cual en su descarga desarrolla una presión mayor que explica el mejoramiento de la misma en relación al valor anterior de solo 2 PSI cuando a la bomba se le alimentaba con agua fría.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Debido al precalentamiento al cual estuvo expuesta nuestra caldera realizada con agua fría, se comprobó que se obtiene un mejoramiento óptimo el cual fue comprobado para futuras pruebas y mejoramiento podrían ser realizarlas previamente.

**Segunda.** En la actualidad la tecnología nos permite mejorar diversos equipos que son de nuestra necesidad para fines convenientes en estos tiempos de avance tecnológico.

**Tercera.** Verificar el funcionamiento de la bomba a la entrada de la caldera debido a que el tanque de condensado es muy pequeño siendo posible que el caudal no sea suficiente para la caldera e ingrese aire causando que la bomba comience a cavitarse y sea necesario realizar una purga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiqua. (2016). *Tanques de salmuera*. Recuperado de <http://aiqua.mx/producto/tanques-de-salmuera/> .
- Armstrong International Inc. (2018). *Bombas de alimentación de calderas*. Recuperado de <https://www.armstronginternational.com/es/products-systems/steam-condensate/equipo-de-recuperaci%C3%B3n-del-condensado/bombas-el%C3%A9ctricas-de-condensado/bombas-de-alimentaci%C3%B3n-de-calderas>.
- Cengel, Y. y Boles, M. (2015). *Termodinámica*. 7th ed. México: McGraw-Hill.
- Custodio, R. y Solís, P. (2017). *Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. -Coishco* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.
- Designing Buildings Wiki. (2019). *Tipos de combustible*. Recuperado de [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Types\\_of\\_fuel](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Types_of_fuel).
- Electro Industria. (2009). *Control y eficiencia de combustión en calderas*. *Electro industria*. Recuperado de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1135>.
- Estrucplan. (2011). *Partes principales que componen una caldera*. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-seguridad-industrial/partes-principales-que-componen-una-caldera/>.

Forbesmarshall. (2019). *Eficiencia de caldera: introducción y métodos de cálculo*. Recuperado de [https://www.forbesmarshall.com/fm\\_micro/news\\_room.aspx?Id=boilers&nid=112](https://www.forbesmarshall.com/fm_micro/news_room.aspx?Id=boilers&nid=112)

García, J. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera pirotubular horizontal* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Haléco Ibéria SL. (2017). *Tanques de almacenamiento: tipos, materiales y usos*. Recuperado de <http://www.haleco.es/tanques-almacenamiento-tipos-materiales-usos/>

Huamancayo, C. (2017). *Análisis de un caldero pirotubular de 300 BHP, usando combustibles diésel y GLP, para mejorar la eficiencia, en la empresa Agromantaro S.A.C* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Kinetico Water Systems (2019). *¿Qué es el agua blanda?* Recuperado de <http://www.kinetico.es/conozca-su-agua/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-agua-blanda>.

Locorp S.A. (2018). *Tanque para combustible* Recuperado de <http://www.locorpsa.com/000-tanque-para-combustibles-5/>.

Monterroso, D. (2004). *Estudio y propuesta del mejoramiento de operación del sistema de generación de vapor de la empresa Maderas Milpas Altas, S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Pinedo, A y Ervin, L. (2017). *Análisis del diseño, construcción y evaluación de un caldero pirotubular con fines académicos en la escuela académica Profesional de Ingeniería en Energía* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.
- Punina, D. y Arcos, J. (2014). *Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- RemaDrivack. (2017). *Receptores de condensado*. Recuperado de <https://www.remadrivac.com/condensate-receivers-condensate-tanks/>.
- Rodríguez, J. (2006). *Desarrollo de un sistema de control avanzado de la presión del vapor en una caldera de tubos de fuego* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Rojas, B. y Mazuera, H. (2014). *Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de los principales componentes operacionales que afectan la eficiencia de la caldera pirotubular del laboratorio de vapor de la Universidad Autónoma de occidente* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Soto, J. (1996). *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Yucatán, México: UADY, Facultad de Ingeniería Química.
- Tecvain. (2013). *Calentador de agua a vapor*. Recuperado de <http://www.tecvain.com/productos/calentador-de-agua-a-vapor>

Verdezoto, L. (2011). *Control predictivo generalizado de una caldera de tubos de fuego* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

WordPress. (2012). *10 ejemplos de combustible sólido*. Recuperado de <https://ejemplos.net/10-ejemplos-de-combustible-solido/>.