

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“ANÁLISIS DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE**  
**UN CALDERO PIROTUBULAR CON FINES ACADÉMICOS EN**  
**LA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**ENERGÍA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTORES:**

**Bach.** PINEDO ALVARRÁN, ERVIN LENIN

**Bach.** RUIZ CUSTODIO, EVER EDUARDO

**ASESOR:**

**M.Sc.** Chucuya Huallpachoque Roberto Carlos

**NUEVO CHIMBOTE, 2017**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

#### **CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando elaborada dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS). De acuerdo a la denominación siguiente:

#### **TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**TÍTULO: “ANÁLISIS DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN CALDERO PIROTUBULAR CON FINES ACADÉMICOS EN LA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA”**

**AUTORES: Bach. PINEDO ALVARRÁN ERVIN LENIN  
Bach. RUIZ CUSTODIO EVER EDUARDO**

---

M.Sc. Chucuya Huallpachoque Roberto Carlos

Asesor

**NUEVO CHIMBOTE, 2017**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

#### **CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS**

Damos conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme el Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS); titulado:

#### **TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**Título: “ANÁLISIS DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN CALDERO PIROTUBULAR CON FINES ACADÉMICOS EN LA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA”**

**Presentado por: Bach. PINEDO ALVARRÁN ERVIN LENIN  
Bach. RUIZ CUSTODIO EVER EDUARDO**

**Revisada y Evaluada por el siguiente Jurado Evaluador:**

---

Mg. Robert Guevara Chinchayán  
Presidente

---

Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda  
Integrante

---

M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque  
Integrante

**NUEVO CHIMBOTE, 2017**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE CUADROS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
I. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación e importancia .....	4
1.3 Lugar e Institución donde se realiza el Proyecto .....	4
1.4 Formulación del Problema .....	5
1.5 Formulación de la Hipótesis .....	5
1.6 Objetivos .....	5
II. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Calderas.....	7
2.2 Clasificación.....	7
2.3 Accesorios .....	13
2.4 Pautas de operación de una caldera .....	23
2.4.1 Variables de Diseño .....	23
2.4.2 Eficiencia .....	24
2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de una caldera .....	25
2.4.4 Control y regulación de una caldera .....	34
2.4.5 Parámetros de Operación y Diseño de una Caldera .....	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1 Materiales Constructivos .....	48
IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	55
4.1 Parámetros de diseño de un Caldero Piro tubular .....	55
A)Consideraciones Iniciales de Diseño del Caldero Piro tubular .....	55
B) Calculo Térmico.....	56
C) Calculo del Número y Selección de Tuberías.....	58
D)Cálculo de la Capacidad de Agua en la caldera .....	62
E)Estequiometria de la Combustión .....	65
4.2 Construcción del Caldero Piro tubular.....	69
4.3 Evaluación de los parámetros de funcionamiento del caldero .....	72

CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES .....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS .....	84
ANEXO 1. Secuencia de Aplicación de Torque para los pernos del Caldero Piro tubular .....	86
ANEXO 2. Tabla de Torque para los pernos del Caldero Piro tubular .....	87
ANEXO 3. Programa de Mantenimiento preventivo en calderas .....	88
<b>a) Operaciones diarias</b> .....	88
<b>b) Operaciones semanales</b> .....	89
<b>c) Operaciones mensuales</b> .....	90
<b>d) Operaciones semestrales</b> .....	90
<b>e) Operaciones anuales</b> .....	90
ANEXO 4. Pruebas de confiabilidad y seguridad en Calderas .....	92
ANEXO 5. Catálogo de tubos astm.....	98
ANEXO 6. Catálogo de Productos Multiaceros .....	103
ANEXO 7. Requisitos de calidad GLP NTP .....	112
ANEXO 8. Planos del Caldero.....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Caldera Acuotubular Modelo CIP con configuración en delta.

Figura N°2: Caldera KESTAHL de 2 hogares.

Figura N°3: Válvula de seguridad de caldera.

Figura N°4: Esquema de una válvula de interrupción para caldera.

Figura N°5: Sistema de control automático de TDS.

Figura N°6: Válvula de purga de fondo manual.

Figura N°7: Posición de una válvula de purga de fondo automatizada.

Figura N°8: Manómetro con sifón tipo R.

Figura N°9: Visor de nivel y accesorios.

Figura N°10: Sección transversal del caldero pirotubular.

Figura N°11: Clasificación de riesgos del GLP.

Figura N°12: Quemador de Gas Natural, marca Wayne (izquierda) y Gas Natural y GLP, marca Flaxmer (derecha).

Figura N°13: Quemador con combustible líquido, marca Career.

Figura N°14: Esquema de un tanque horizontal.

Figura N°15: Termómetro bimetálico WEISZ.

Figura N°16: Manómetro de presión WIKA.

Figura N°17: Pernos y Tuercas

Figura N°18: Válvula de Globo clase 200 (izquierda) y Válvula de Bola (derecha).

Figura N°19: Equipo de quemador estándar (izquierda) y Vista interna del quemador (derecha).

Figura N°20: Empaque para las bridas del caldero.

Figura N°21: Modelo para el diseño del caldero pirotubular.

Figura N°22: Arreglo triangular del banco de tubos.

Figura N°23: Esquema en sección transversal del cuerpo de la Caldera.

Figura N°24: Esquema en sección longitudinal del cuerpo de la Caldera.

Figura N°25: Esquema isométrico del cuerpo de caldera.

Figura N°26: Grafica del comportamiento de los coeficientes a diversas temperaturas.

Figura N°27: Construcción del cuerpo de la caldera: Cilindro del caldero (izquierda) y maquinado de los espejos laterales con las perforaciones para los tubos de la cámara y banco de tubos (derecha).

Figura N°28: Construcción de tubos de cámara de combustión y Banco de tubos: Parte frontal de los tubos, entrada de cámara de combustión (izquierda) parte posterior salida de gases y entrada al banco de tubos (derecha).

Figura N°29: Secuencia de apreté de los pernos en la brida de la caldera.

Figura N°30: Llenado del caldero (izquierda) e Instalación del quemador (derecha).

Figura N°31: Comportamiento del Rendimiento en la evaluación.

## ÍNDICE DE CUADROS

**CUADRO N°1:** Propiedades físico químicos del GLP comercial y componentes.

**CUADRO N°2:** Entalpías de Formación para los componentes del balance.

**CUADRO N°3:** Interpolación de los valores del balance general.

**CUADRO N°4:** Consumo de GLP para el calentamiento del agua.

**CUADRO N°5:** Flujo de GLP en el proceso de calentamiento del agua.

**CUADRO N°6:** Datos registrados en la apertura de la válvula de vapor.

**CUADRO N°7:** Cálculo de Entalpías, consumos de GLP y agua, Rendimiento.



## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a DIOS por el regalo de la vida, A mi Padre, A mi Madre y a mis hermanos Yasser, jenifer, que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia a la cual amo, por el apoyo constante brindado, por los consejos que trazaron el horizonte seguro para dirigir cada paso en la vida con la firme convicción de ser buen hijo, buen hermano, buen ciudadano y profesional.

**PINEDO ALVARRÁN ERVIN LENIN**

## **DEDICATORIA**

Ante todo agradecer a Dios por el día a día y por darme una gran familia.

Una dedicatoria y agradecimiento especial a mi madre, por el apoyo que me dio en el transcurso de mi carrera universitaria, por enseñarme lo bueno y lo malo de la vida, por corregirme ante los errores cometidos y así poder ser una excelente persona, también agradecer a mi padre que durante el tiempo que estuvo con nosotros, nos enseñó como salir adelante, ver siempre el lado positivo de la vida y aprender de los errores que uno comete en la vida , y sé que este en el lugar que este ,me guiará por el buen camino.

Como también a mis hermanos, que sin el apoyo de cada uno de ellos no hubiera podido conseguir culminar y formarme como profesional, agradecerlos por el apoyo desinteresado. Armando, Amanda, Wilder, Fredy, Wilson. Muchas gracias hermanos que sin ustedes no lo hubiera logrado

**RUIZ CUSTODIO EVER EDUARDO**

## AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional del Santa por haberme aceptado ser parte de ella y en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía por darme la oportunidad de ser uno de sus integrantes.
- A nuestros maestros de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, por enseñarnos el camino de la superación y brindarnos las enseñanzas que para ello se requiere.
- A nuestro Asesor, **M.Sc. CHUCUYA HUALLPACHOQUE Roberto Carlos** por su apoyo brindado en la elaboración del presente proyecto de Tesis.
- A nuestros amigos y compañeros de estudio quienes nos alentaron a continuar en la brega y en muchos casos nos ayudaron a lograr nuestro objetivo.

**Los autores.**

## RESUMEN

En la carrera de Ingeniería en Energía, si bien los conocimientos térmicos teóricos son de buen nivel académico, presenta problemas para el desarrollo de las prácticas en ciertas asignaturas, debido a que la implementación del laboratorio de termofluidos es limitado, concentrándose en la parte teórica y se aleja del análisis técnico y tecnológicos de los problemas que puedan tener las industrias de una u otra manera.

El presente proyecto denominado diseño, construcción y evaluación de un caldero tipo pirotubular será utilizado con fines académicos en los laboratorios de procesos térmicos, en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía. Se desarrollaron en tres etapas: **etapa de diseño** se planteó una potencia de 6 BHP y una presión máxima permisible de 6 bar, **etapa de construcción**, con el asesoramiento de un especialista en máquinas herramientas, quien se encargó del maquinado y armado de los componentes de la caldera, el cual se desarrolló en su totalidad en un taller de mecánica estructural, finalmente en la **etapa de evaluación** se realizaron dos pruebas una posterior al armado luego de realizarse las pruebas según norma ASME, y la otra fue una prueba efectiva con control de los parámetros para el cálculo del rendimiento térmico.

En el diseño se determinó los componentes del caldero pirotubular que consiste: 26 tubos de humo de DN 1" Sch 40 con una longitud de 0.90 m y con arreglo triangular, 1 tubo del hogar o cámara de combustión de DN 4" Sch 40 con longitud de 1.12 m (longitud efectiva de transferencia 0.90 m), 2 espejos laterales con 26 agujeros de DN 2" y 1 agujero de DN 4" y diámetro interno 0.4572 m, cuerpo de la caldera plancha de acero al carbono ASTM A-36 cuyas dimensiones son DI 457.2 mm y Longitud 1082.7 mm. Además se calculó el volumen de agua requerido para la caldera de 80.71 litros de agua.

En la construcción del caldero pirotubular, en un taller de estructuras metálicas, que cuenta con todos las máquinas y equipos requeridos (torno, fresa máquinas de soldar, esmeriladora, etc.) y realizó por personal especializado en el área. Al equipo terminado se realizaron las pruebas requeridas según norma ASME para la construcción de calderas.

En la evaluación con fines de cálculo del rendimiento térmico se controló el consumo de agua y combustible en intervalos de tiempos variados (5, 2 y 1 minuto) y manteniéndose la presión en tres niveles 2, 1.5 y 1 bar manométrico, con lo cual se consiguió cuantificar el rendimiento térmico mediante el método directo en 72.8%.

## ABSTRACT

In the engineering career in energy, while the theoretical thermal knowledge are of a good academic level, presents problems for the development of the practices in certain subjects, due to the fact that the implementation of the laboratory of termofluids is limited, concentrating on the theoretical part and moves away from the technological and technical analysis of the problems which are likely to have the industries in one way or another.

The present project design, construction and evaluation of a cauldron type pyrotubular will be used for academic purposes in the laboratories of thermal processes, in the professional Academic School of Engineering in energy. It was developed in three stages: stage of design, there was a power of 6 BHP and a maximum allowable pressure of 6 bar, construction stage, with the advice of a specialist in machine tools, who was in charge of the machining and assembly of the components of the boiler, which was developed in its entirety in a workshop of structural mechanics, finally at the stage of evaluation will be performing two tests, a post-armed conflict after the evidence according to ASME, and the other was a factual evidence, with control of the parameters for the calculation of the thermal performance.

In the design, the components of the pyrotubular boiler were determined: 26 DN 1" Sch 40 smoke tubes with a length of 0.90 m and with a triangular arrangement, 1 DN 4" domestic pipe or combustion chamber Sch 40" with length 1.12 m (effective transfer length 0.90 m), 2 lateral mirrors with 26 holes of DN 2" and 1 hole of DN 4" and internal diameter 0.4572 m, body of the boiler carbon steel plate ASTM A-36 whose dimensions are DI 457.2 mm and Length 1082.7 mm. In addition, the volume of water required for the boiler of 80.2 liters of water was calculated.

In the construction of the pyrotubular cauldron, in a workshop of metallic structures, which has all the required machines and equipment (lathe, milling machines, grinding machines, etc.) and performed by specialized personnel in the area. The equipment completed was the tests required according to ASME standard for the construction of boilers.

In the evaluation for the purpose of calculating the thermal performance, the consumption of water and fuel was controlled at various time intervals (5, 2 and 1 minute) and the pressure was maintained at three levels 2, 1.5 and 1 bar gauge. Was able to quantify the thermal efficiency by the direct method in 72.8%.

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

**Suasnabar (2014)** diseño una caldera de calefacción, para su uso doméstico en las zonas andinas del Perú, cuyo combustible es bosta. La caldera fue del tipo pirotubular vertical, y tiene un suministro energético de 11.2 kW, calentando agua desde los 5°C hasta los 80 °C, este aumento de temperatura en el agua lo obtuvo por la combustión de bosta a una razón de 4 kg/h en la cámara de combustión.

Además para el diseño térmico utilizó la correlación de convección de Dittus Boelter, entre otros, para definir la geometría completa del equipo. El diseño mecánico, se ha realizado tomando como referencia la sección IV y VIII del código ASME demostrando la gran importancia que tiene el acogerse a los códigos que son los que se utilizan en el desarrollo real de la profesión.

El diseño final del su trabajo consistió en la utilización de veinticinco tubos lisos en material A53 de 1" de diámetro y 1.2 m de longitud, cuatro bridas en material A -36 para el acople de las distintas partes. El casco está construido en planchas de acero de material A36 y tendrá un diámetro de 14", la cámara de combustión es de tipo de carga manual, y la evacuación de los gases de la combustión será por medio de una chimenea de tiro natural.

**Hernández (2011)** diseño un equipo generador de vapor de baja potencia, cuyo resultado fue la construcción del generador de vapor capaz de suministrar vapor por un periodo continuo de una hora y media, con posibilidad de recargar el equipo para prolongar su funcionamiento hasta tres horas y media con una interrupción por recarga de veinte minutos. Los sistemas que componen el generador de vapor diseñado y construido son: sistema de calentamiento, sistema de recarga, sistema de seguridad y sistema de tuberías.

En su diseño el equipo generador de vapor construido consta de las siguientes especificaciones técnicas: peso total del equipo 18.628 kg, voltaje mínimo de entrada de 110 V – 50 – 6 Hz, potencia de la resistencia eléctrica de 2000 W, tamaño de la



caldera de 0.16 cc, producción de vapor de 2.67 kg y presión máxima de trabajo 2 kg/cm<sup>2</sup>.

**Guerrero y Arcos (2014)** realizaron el diseño, construcción e instalación de un generador de vapor cuyo objetivo es proporcionar vapor para el funcionamiento de equipos del laboratorio de Transferencia de Calor.

En su diseño del equipo consideraron las condiciones, parámetros, requisitos y recomendaciones, prescritas en el código ASME sección I. Seleccionaron un quemador a diésel que proporcionará la flama para la combustión, además la consideración de materiales con los que se construyó el equipo de acuerdo a las recomendaciones del código ASME sección I.

Comprobaron en su diseño térmico que los datos proporcionados por los fabricantes se acercan a los valores calculados, la fase de la construcción se la realizó basada en normas internacionales (código ASME sección I) garantizando de esta manera la eficiencia y seguridad del equipo.

**Iguarán & Martínez (2008)** establecieron un conjunto de parámetros asociados al Diseño y Construcción de una Mini Caldera Piro-tubular que se usara en el laboratorio de Transferencia de Calor. La producción de vapor proyectada según requerimiento en el laboratorio es de 12 lb/h de vapor saturado, representando ahorro de energía y tiempo.

En su diseño y construcción de la caldera piro-tubular se tiene que cuenta con diez tubos lisos en material A106, cuatro bridas en material A36, el casco está construido en material A106, el quemador es de tiro forzado y trabaja con gas natural, el control de llama se realiza mediante una tarjeta programada, los procedimientos de construcción se desarrollaron mediante la norma ASME lo que indica que se siguieron lineamientos comerciales para el diseño construcción y fabricación, demostrando la gran importancia que tiene el acogerse a los códigos que son los que se utilizan en el desarrollo real de la profesión.

## **1.2 Justificación e importancia**

Actualmente en el área de termofluidos, no se cuenta con los equipos adecuados para generar vapor a nivel saturado, que garanticen un flujo constante durante un tiempo de adecuado que pueda mantenerse la práctica. Existen dos calderines sin información técnica de diseño y construcción, los cuales representan un peligro para los estudiantes, además de no contar con los instrumentos de control necesario para una evaluación propia del laboratorio. Entonces esto limita las prácticas relacionadas con el área, como: evaluación de intercambiadores de calor, sistemas de evaporación, ciclos de potencia de vapor, etc. Los cuales son vitales para complementar la información teórica de las asignaturas.

La importancia, entonces, de la presente tesis radica en la construcción y evaluación de una caldera del tipo piro-tubular para el laboratorio de termofluidos que servirá como complemento académico, con la consigna de obtener un mayor desarrollo de las prácticas de laboratorio de los cursos:

- Laboratorio de energía I y II
- Transferencia de Calor y Masa
- Técnicas de conservación y uso eficiente de la energía.
- Plantas generadoras de potencia

De tal manera que se fortalecerá al alumno en conocimientos prácticos, obteniéndose así un mayor nivel de formación académica, del mismo modo puede ser utilizado con fines experimentales en investigación, así se pretende contribuir al mejoramiento y renovación del laboratorio de termofluidos, que será destinado para módulos de práctica de los estudiantes de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa.

## **1.3 Lugar e Institución donde se realiza el Proyecto**

Institución: Universidad Nacional del Santa

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Energía

Ubicación: Av. Universitaria s/n, Urb. Garatea. Distrito de Nuevo Chimbote.

#### **1.4 Formulación del Problema**

¿Es factible diseñar, construir y evaluar un caldero del tipo pirotubular cuya finalidad sea prácticas en el laboratorio de termofluidos en la Escuela Académica de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa?

#### **1.5 Formulación de la Hipótesis**

La hipótesis que se plantea al problema formulado es la siguiente:  
**“El diseño, construcción y evaluación tendrá la finalidad de realizar prácticas en el laboratorio de termofluidos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía”**

#### **1.6 Objetivos**

##### **Objetivo General**

Analizar el diseño, construcción y evaluación de un caldero pirotubular, utilizado con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

##### **Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros de diseño de un caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.
- Construir un caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.
- Evaluar los parámetros de funcionamiento del caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Calderas

Es un equipo térmico conformado por un recipiente metálico, cerrado, hermético, presurizado destinado a producir vapor o calentar agua u otro fluido mediante un proceso isobárico, mediante el suministro de una fuente de energía primaria (generalmente un combustible o también a través de resistencia eléctrica) el cual libera calor, que es aprovechado de manera indirecta por un fluido.

### 2.2 Clasificación

La clasificación general de las calderas, de acuerdo al mayor uso en nuestro país, sería la siguiente:

#### **Atendiendo su posición:**

- Horizontales, la mayor parte de calderos pirotubulares.
- Verticales, dentro se encuentran los generadores de vapor recuperadores de vapor.

#### **Atendiendo a la ubicación del hogar:**

- De hogar interior. La cámara de combustión se encuentra dentro del caldero.
- De hogar exterior. Existe una separación entre la cámara de combustión y la cámara de generación de vapor.

#### **En función al fluido de trabajo:**

- Caldera de vapor: Es aquella caldera en el que el medio de transporte es vapor de agua.
- Caldera de agua caliente: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura inferior a 110 °C.
- Caldera de agua sobrecalentada: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura superior a 110 °C.

- Calderas de recuperación (GVRC o HRSG): Calderas de vapor utilizadas en las centrales de ciclo combinado, se caracterizan porque tienen doble o triple nivel de presión.

En función al contenido de los tubos:

- Calderas Piro-tubulares: Los gases de la combustión circulan dentro de los tubos.
- Calderas Acuotubulares: El agua circula dentro de los tubos.

### **En función a la presión de trabajo:**

- Calderas de calefacción de baja presión: calderas de agua caliente hasta 11.25 bar y hasta 125 °C, y calderas de vapor hasta 1.5 bar.
- Calderas de vapor de baja presión: Hasta 4 a 5 atm.
- Calderas de vapor de media presión: hasta 20 atm.
- Calderas de vapor de alta presión: 20 atm a presiones críticas.
- Calderas supercríticas: más de 225 atm y 374 °C

Con respecto al volumen de agua que contiene en relación con su superficie de calefacción:

Se entiende por superficie de calefacción (SC) como la superficie total de planchas y tubos de la caldera que por un lado están en contacto con los gases y por el otro con el agua. La superficie de calefacción se mide por el lado de los gases.

- De gran volumen de agua (más de 150 litros. x m<sup>2</sup> de SC).
- De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 litros x m<sup>2</sup> de SC).
- De pequeño volumen de agua (menos de 70 litros x m<sup>2</sup> de SC).

Según la circulación del agua dentro de una caldera:

- Circulación natural: El agua circula por efecto térmico.
- Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas.

### **Según el tipo de combustible:**

- De combustible sólido. Utiliza hogares con parrillas o pulverizadores de combustible sólido.
- De combustible líquido.
- De combustible gaseoso.

Una clasificación típica a nivel industrial es en función al contenido que fluye en los tubos, por ello ampliaremos y daremos más detalles a esta clasificación:

**Calderas Acuotubulares:** En este tipo de calderas el agua fluye a través de los tubos que son rodeados por gases calientes de combustión en el interior de un casco. Usualmente, su capacidad se expresa en libras de vapor por hora y varía en un rango entre 2000 lb/hr (907 kg/hr) hasta 10 millones de lb/hr (4.4 millones de kg/hr) de producción de vapor.

Según el tamaño de la caldera llevará uno o dos quemadores, con sus correspondientes rampas de combustible y maniobra eléctrica independiente teniendo la maniobra de control de potencia de llama, tipo cascada para aprovechar al máximo las inercias térmicas.

Estas calderas por su configuración y diseño, nos permiten alcanzar presiones altas, que de otro modo sería muy difícil conseguir por la legislación vigente sobre diseño de caldera, éstas pueden alcanzar los 45 kg/cm<sup>2</sup>.

Figura 01: Caldera Acuotubular Modelo CIP con configuración en delta



Fuente: <http://calacutubular.blogspot.pe/>

- **Características:**

Están compuestas por varias superficies de transferencia de calor; economizadores, sobrecalentadores, evaporadores, recalentadores de aire, calentadores de agua y atemperadores.

Se les utiliza para la generación de vapor sobrecalentado a alta presión.

Operan con el ciclo Rankine con sobrecalentamiento, recalentamiento, regenerativo o recuperativo en la generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas de carbón, petróleo.

Su rendimiento oscila entre 85 %.

El circuito de agua está compuesto por un banco de tubos y domos de vapor.



- **Ventajas:**

Menor peso por unidad de potencia generada.

Mayor eficiencia.

Mayor seguridad para altas presiones.

- **Desventajas:**

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

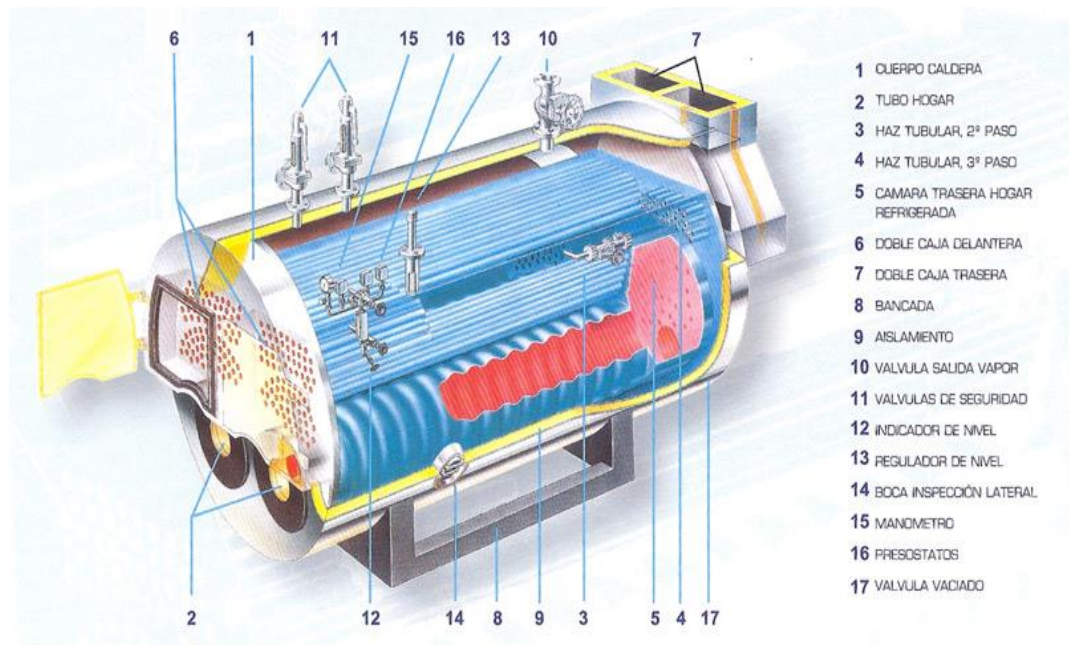
Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.

**Calderas piro-tubulares:** Son aquellos calderos de tipo paquete que se caracterizan porque los gases calientes de la combustión fluyen a través de los tubos, mientras que el agua está contenido en un depósito que contiene a los tubos, produciéndose la transferencia de calor desde dentro de los tubos hacia fuera. El agua absorbe el calor necesario de los tubos radiantes generando vapor saturado.

Su rendimiento es alto, sin complicaciones constructivas, estando situado, para diseños correctos, alrededor del 87%

En la figura N° 02 se presenta una caldera con dos quemadores, aquí los equipos de combustión pueden ser regulados y operar independientemente gracias al principio constructivo de las MNK-2H (dos calderas independientes dentro de una envolvente única), lo que permite el funcionamiento con un solo tubo hogar en el caso de bajas o medias demandas o por avería o mantenimiento de un quemador.

Figura 02: Caldera KESTAHL de 2 hogares



Fuente: <https://www.sogecal.com>.

- **Ventajas:**

Menos costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.

Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.

- **Desventajas:**

Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.

Mayor tiempo para subir la presión y entrar en funcionamiento.

No son empleadas para altas presiones.

## **2.3 Accesorios**

### **Válvula general o llave de paso de vapor**

Aunque la válvula general, válvula de toma o llave de paso de vapor no se haga funcionar con frecuencia, debe siempre mantenerse en buen estado y lista para su inmediato uso. Son esenciales las limpiezas y engrases periódicos con comprobación de la apertura y cierre máximos. El volante de mano suministrado con la válvula es lo suficientemente grande para que el cierre perfecto se efectúe sin necesidad de herramienta, y si se observara una fuga deberá esmerilarse y ajustarse el asiento de la válvula y no pretender cerrarla ejerciendo una fuerza indebida sobre el volante. Toda llave general de paso de vapor se revisara con ocasión de la inspección anual de la caldera. Para vapor saturado a presión de hasta 10 Kg/ cm<sup>2</sup>, el cuerpo y la tapa de la válvula suelen ser de hierro fundido, y para mayores presiones y vapor recalentado, de acero.

### **Válvula combinada de paso y aislamiento**

Cuando dos o más calderas van conectadas a la misma tubería general de vapor, es aconsejable que las válvulas de paso de cada caldera sean a su vez válvulas de retención. Con estas válvulas se impide la inversión del flujo de vapor, es decir la entrada del vapor de la tubería en una caldera en una caldera si la presión de ésta es en algún momento inferior a la de la tubería, caso en el cual se cerrara automáticamente la válvula.

### **Válvulas de alimentación**

La alimentación regular y continua de agua es necesaria para el funcionamiento eficiente de toda caldera, y para ello se requieren las válvulas de retención para el paso del agua de alimentación. Muchas calderas llevan dos válvulas de alimentación, cada una con su propia bomba de alimentación o sistema alimentador, para asegurar el abastecimiento en caso de avería de unos de los sistemas. El cuerpo de estas válvulas, para presiones de más de 10 Kg/cm<sup>2</sup>, suele ser de hacer, y se construye tanto del tipo angular como del recto.

Uno de los modelos más satisfactorios es el llamado “tipo accesible”, que permite sacar el macho y el asiento para su inspección, y si es necesario, el esmerilado sin que quede la caldera fuera de servicio.

### **Válvulas de seguridad**

Todas las calderas, salvo excepcionalmente, alguna caldera vertical muy pequeña, deben llevar por lo menos, dos válvulas de seguridad, su función es proteger el cuerpo de la caldera de sobrepresión y evitar que explote, existen varios tipos de válvulas de seguridad, todas deben cumplir el siguiente criterio:

- Deben dar salida a un caudal de vapor equivalente a la potencia térmica de la caldera.
- El rango de capacidad de descarga total debe estar dentro del 100% de la presión de diseño de la caldera.
- El orificio que conecta una válvula de seguridad a una caldera debe ser, como mínimo de 20 mm.

Figura 03: Válvula de seguridad de caldera



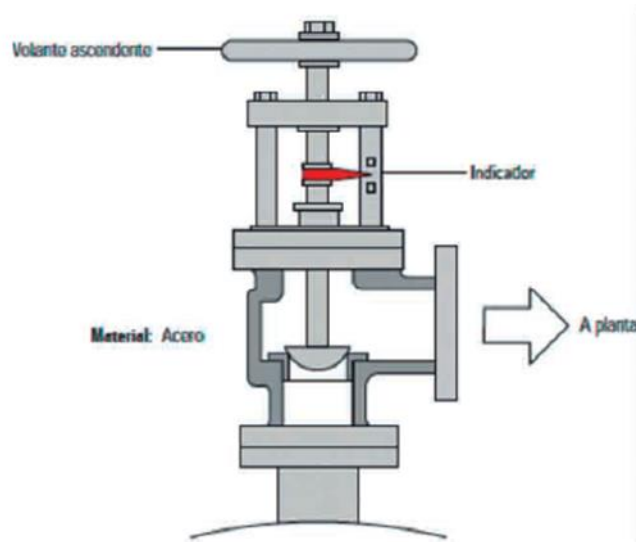
Fuente. Spirax Sarco

## Válvula de interrupción para calderas

Una caldera de vapor debe tener instalada una válvula de interrupción (también conocida como válvula de salida de vapor), que aísla la caldera de vapor y su presión del proceso o la planta. Generalmente, es una válvula de globo en ángulo del modelo de husillo. Anteriormente estas válvulas estaban fabricadas de hierro fundido, acero y bronce (que se usan para las aplicaciones con presiones más altas). Actualmente, muchos fabricantes de calderas usan válvulas de fundición nodular como estándar en sus propias aplicaciones como válvula de interrupción.

Esta válvula debe abrirse lentamente para evitar aumentos repentinos de presión abajo y golpe de ariete.

Figura 04: Esquema de una válvula de interrupción para caldera



Fuente. Spirax Sarco

## Válvulas de retención

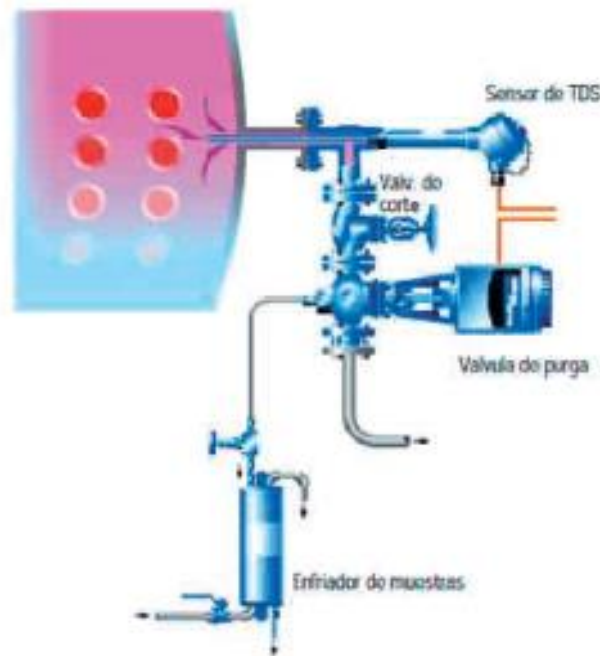
Las válvulas de retención se instalan en la tubería del agua de alimentación de la caldera, entre la bomba de alimentación y la caldera. La válvula de retención contiene un resorte que mantiene la válvula cerrada cuando no hay presión en la caldera aunque el tanque de alimentación tenga un nivel elevado. Además, previene que la caldera se inunde por la presión estática del agua de alimentación. Bajo condiciones normales de vapor, la válvula de retención funciona de una manera

convencional para detener el flujo del retorno de la caldera que entra en la línea de alimentación cuando la bomba de alimentación se para. Cuando la bomba de alimentación se pone en marcha, su presión vence al resorte para alimentar a la caldera.

### Control de Sales Disueltas

Controla la cantidad total de solidos disueltos (**TDS**) en el agua de caldera y, a veces, también se conoce como “purga continua”, el sistema puede ser manual o automático. Cualquiera que sea el sistema usado, las TDS son una muestra del agua de caldera comparado con un punto de referencia: si el nivel del TDS es demasiado alto, se libera una cantidad de agua de caldera para ser sustituida por agua de alimentación de caldera con un nivel de TDS mucho más bajo. Esto tiene el efecto de diluir el agua en la caldera y reducir los niveles de TDS.

Figura 05: Sistema de control automático de TDS



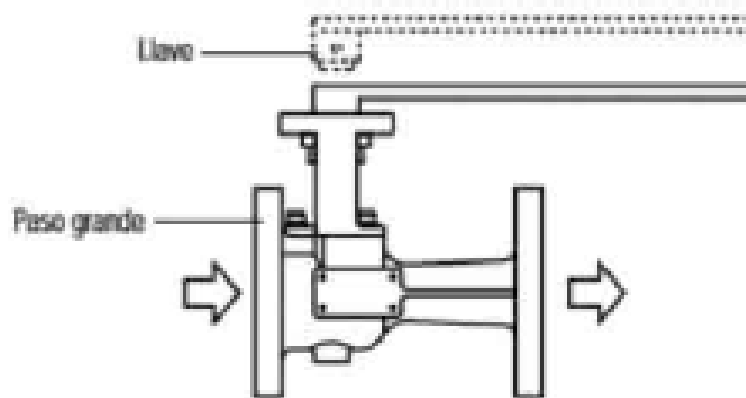
Fuente. Spirax Sarco

## Válvulas de purga de fondo

Las calderas deben tener, como mínimo, una válvula de purga de fondo, en un lugar cercano al que pueda que se acumule el sedimento o lodo, Estas válvulas deben accionarse con una llave y están diseñadas de tal manera que es imposible sacar la llave con la válvula abierta. Existen válvulas de purga de fondo automáticas que se controlan por temporizadores incorporados en los controles electrónicos que se aseguran que una sola caldera puede purgarse a la vez.

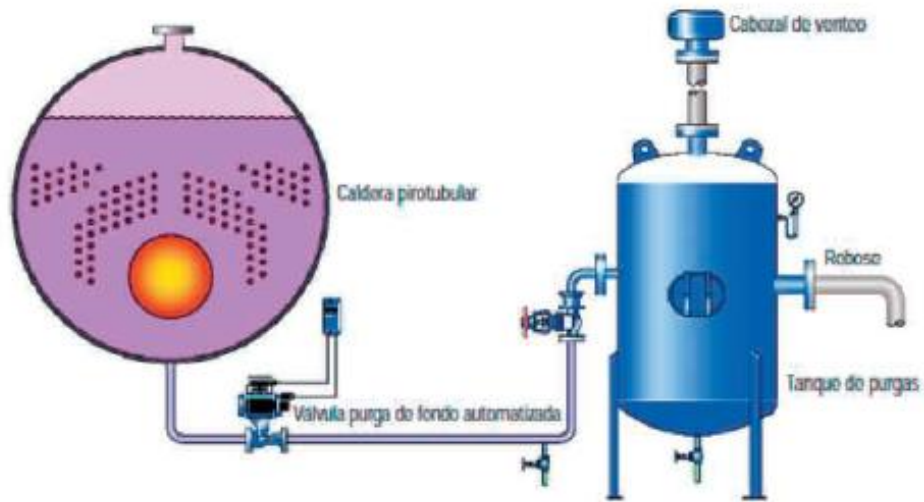
Con purga de fondo manual en una instalación de varias calderas, solo se permite una llave en la sala de calderas. De esta manera, es imposible que el contenido de la purga de fondo de una caldera pase a otra y que tenga que pararse para el mantenimiento.

Figura 06: Válvula de purga de fondo manual



Fuente. Spirax Sarco

Figura 07: Posición de una válvula de purga de fondo automatizada



Fuente. Spirax Sarco

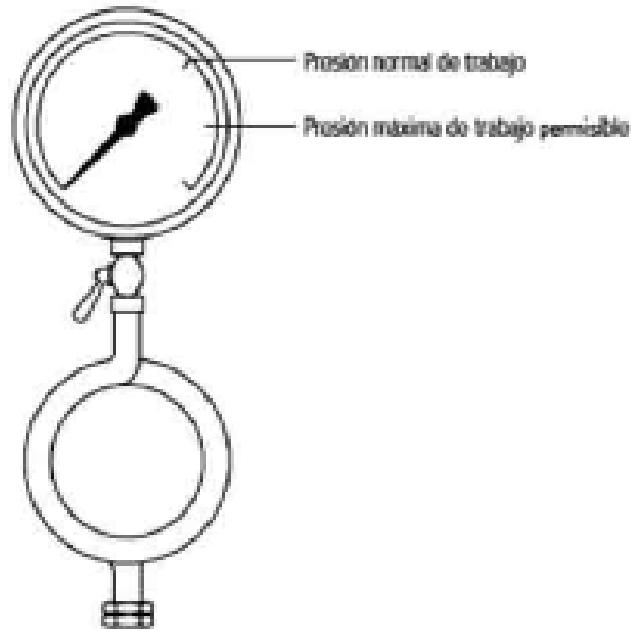
## Manómetros

Todas las calderas deben tener como mínimo, un indicador de presión, lo ideal debe tener como mínimo, 150 mm de diámetro y ser del tipo de tubo de bourdon. Debe tener marcada la presión de trabajo normal y la presión de diseño de trabajo máximo permisible.

Los manómetros, normalmente, se conectan al espacio vapor de la caldera por un tubo sifón en R que está lleno de vapor condensado para proteger el mecanismo del dial de altas temperaturas. Se pueden instalar manómetros en otros recipientes a presión, como tanques de purga de fondo. En casi todas las salas de calderas, el manómetro es el único indicador para el técnico encargado del estado de la demanda de vapor.



Figura 08: Manómetro con sifón tipo R



Fuente. Spirax Sarco

### **Indicadores de nivel de agua**

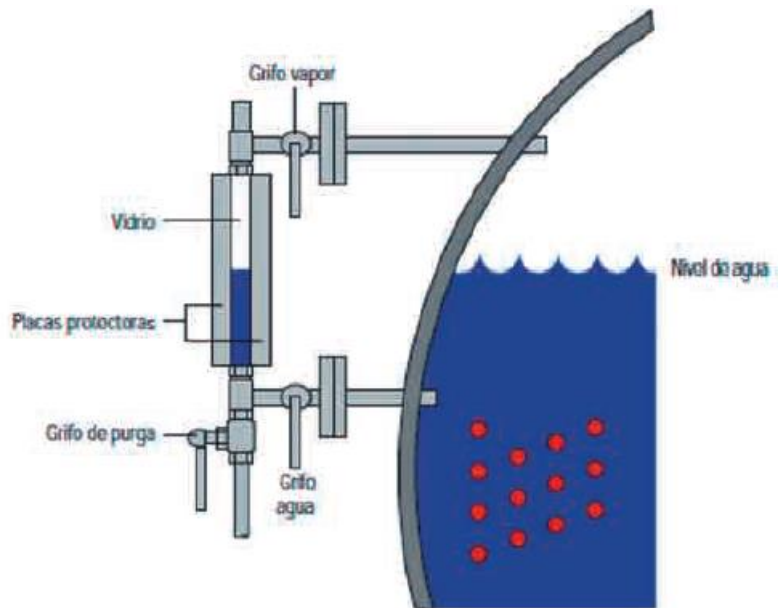
Para lograr que un caudal de vapor coincida con los requisitos variables de una planta de vapor, es necesario un buen control de nivel de agua de la caldera. Con los pequeños espacios de vapor en las calderas actuales, es esencial una respuesta rápida y precisa a las variaciones en el nivel de agua.

Todas las calderas tienen, como mínimo, un indicador de nivel de agua, que consiste en un tubo de cristal que muestra el nivel real del agua en la caldera sean cuales sean las condiciones de trabajo de la caldera. Deben instalarse indicadores de nivel para que muestren su lectura más baja del nivel a 50 mm del punto sobre donde ocurrirá el sobrecalentamiento.

Los indicadores de nivel son propensos a daños por la corrosión de los químicos en el agua de la caldera, y erosión durante la purga de fondo, especialmente en el lado del vapor. Cualquier señal de corrosión o erosión obliga a cambiar el cristal.

Hay que asegurarse de que hay un nivel de agua satisfactorio antes de cerrar el indicador de nivel y tener cuidado de no tocar o golpear el cristal.

Figura 09: Visor de nivel y accesorios



Fuente. Spirax Sarco

## Hogar

También denominada cámara de combustión, es el espacio donde se realiza la combustión y en donde soporta las más altas temperaturas de combustión, generalmente es corrugada (para poder compensar los esfuerzos térmicos).

## Banco de tubos

Está conformado por tubos de acero al carbono sin costura, generalmente cedula 40 (de 2 a 2 ½" generalmente para calderos de mediana y gran capacidad, para calderos de pequeña capacidad se usan tuberías de ½").

## Tambor o cilindro

Es el cilindro que conforma la parte exterior y da forma al caldero, está compuesto por:

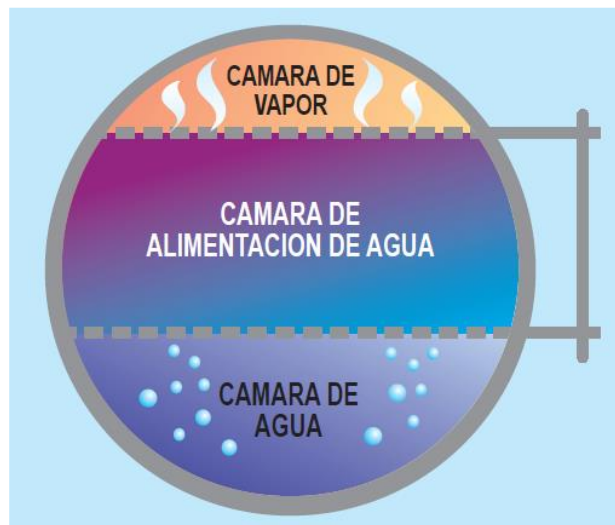
➤ **Cámara de agua**

Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no se debe descender nunca el agua durante su funcionamiento.

➤ **Cámara de vapor**

Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor.

Figura 10: Sección transversal del caldero pirotubular



Fuente: Descripción de calderas y generadores de vapor

**Espejos**

Llamado también placa de tubos, fabricadas de lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.

## **Cámaras de humo**

Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

## **Mampostería**

Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objetivo:

- Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
- Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo. Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

## **Chimenea**

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión hacia la atmosfera, los cuales deben ser evacuados a una altura suficiente para evitar perjuicios o molestias, Además, tiene como función producir el tiraje necesario para obtener una adecuada combustión, esto es, haciendo pasar el aire necesario y suficiente para quemar el combustible, en calderas que utilizan combustible sólidos.

## **Quemador**

Es uno de los componentes fundamentales de la caldera y su función es realizar la mezcla del aire con el combustible para conseguir su combustión y la liberación del calor necesario para la generación de vapor.

## **Ventiladores de aire**

Proporcionan el aire de combustión. Por lo general son de tipo centrífugo que impulsan el aire a través de la caldera.

## **2.4 Pautas de operación de una caldera**

Los elementos de funcionamiento de una caldera son: el fuego, el agua y un conjunto de áreas de intercambio de calor. El seguimiento de las pautas operacionales aplicadas a estos tres elementos podrá producir vapor/agua caliente, en forma óptima para la generación de energía de la manera más eficiente y confiable posible.

Una caldera elemental de vapor, es un equipo o vasija cerrada a presión, en el cual un fluido es calentado para uso externo por la aplicación directa de combustible. De acuerdo al ASME (American Society of Mechanical Engineers), una caldera de alta presión de vapor es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psig (pounds per square inch gauge). Por debajo de esta presión, son llamadas calderas de baja presión de vapor. Una caldera de presión supercrítica opera por encima de la presión de 3.206,2 libras por pulgada cuadrada absoluta (psig) y 705,4 °F de temperatura de saturación. A esta presión el vapor y el agua tienen la misma densidad, lo cual significa que el vapor es comprimido tan estrechamente como el agua. Cuando esta mezcla es calentada por encima de la correspondiente temperatura de saturación (705,4 °F), se produce vapor supercalentado y seco para trabajos de alta presión. En este tipo de calderas, al no haber cambio de las fases líquidas y vapor, no existirá ningún nivel de agua, por lo cual no se requieren tambores de vapor.

### **2.4.1 Variables de Diseño**

Las variables de diseño de las calderas de vapor son múltiples, debido a varios factores implicados en su selección, operación y servicios. Al escoger uno de estos equipos se deben considerar algunos requisitos básicos como son:

- La capacidad de generación de vapor.
- La temperatura y presión de operación.
- Las condiciones por calidad del agua de alimentación.
- Los combustibles disponibles.
- La calidad del vapor a servir.
- La seguridad y confiabilidad de su operación.

- La periodicidad del mantenimiento.
- El acceso a todas sus partes para inspección/repación.
- La disponibilidad de partes de reposición.
- Los costos de instalación y operación.

Una vez se selecciona una caldera, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros, además de los mencionados anteriormente:

- Características de la carga. Variable, rangos y carga máxima, calidad del vapor requerido.
- Tipos de combustibles.
- Diseño de quemadores – de acuerdo a los combustibles y regulaciones ambientales vigentes.
- Parámetros de calidad de agua, % dureza, % hierro, % sílice.
- Variaciones previstas de la carga, % capacidad total.
- Futuros requerimientos, % por encima de la capacidad nominal.

#### 2.4.2 Eficiencia

Optimizar el consumo de energía de una caldera, es incrementar la eficiencia. El objetivo de una caldera bien diseñada, además de generar vapor, es realizar el proceso de evaporación con la máxima eficiencia posible. Se podría salvar mucho capital manteniendo la caldera en un nivel óptimo de desempeño. Las hojas de registro de las variables de operación de la caldera son un testimonio importante para evaluar su desempeño y ayudar con las tendencias, para saber cómo puede afectarse la presión de operación de la caldera (**para calderas de vapor**), la temperatura de operación (**para calderas de agua caliente**) y la temperatura de chimenea. Si la caldera posee dos sistemas de combustibles, se puede evaluar el desempeño con cada uno de ellos para conocer la eficiencia.

La eficiencia se mejora haciendo ajustes sobre el sistema de combustión, la frecuencia de ajuste del quemador depende de variables como:

- Tipo de quemador.
- Tipo de combustible.
- Tipo de carga.
- Temperatura de ambiente.
- Variables climáticas.
- Practicas generales de mantenimiento.

Cuando los cambios en esas variables ocurren, corresponden cambios en la combustión, por ciertas razones. Un electrodo sucio puede causar que el piloto no encienda. Una fotocelda sucia puede causar que la llama se apague en el quemador.

Un incremento de temperatura de ambiente (aire de combustión, 50°F), puede causar un alto nivel de monóxido de carbono en los quemadores de gas, y hollín en los quemadores de aceite. Por esta razón se debe ajustar los quemadores y la combustión en forma permanente.

### **2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de una caldera**

Existen 2 tipos de ensuciamientos: el externo, producido por las cenizas y el hollín, productos de la combustión y el interno, por la inadecuada calidad del agua dentro de la caldera. Esta situación se hace más crítica cuando se queman combustibles líquidos como los aceites crudos combustibles o aceites residuales como el combustóleo o el fuel oil. Los ensuciamientos internos, como ya lo mencionamos, son producto del mal tratamiento interno del agua en la caldera, que genera incrustaciones calcáreas (de calcio y magnesio, así como silicatos y otros). La corrosión también causa rotura de tubos. En general, la eficiencia se afecta por el ensuciamiento y corrosión de las superficies de transferencia de calor. Estos depósitos son determinados principalmente por los siguientes factores:

#### **Tipo de combustible**

- Carbón o combustible pulverizado.

- Combustóleo o cualquier otro combustible líquido (ACPM, alcohol, crudo combustible u otros).
- Gas natural, GLP y otros.

Los combustibles líquidos en general se queman y consiguen esta condición mediante la pulverización o atomización de las partículas líquidas, formando nubes de vapor del combustible. Esta condición de pulverización depende de varios factores, tales como el medio atomizante (masa del medio mecánico de desintegración del combustible), la viscosidad y/o la temperatura al momento de quemar.

El gas combustible es más sencillo de quemar y muy noble en el desempeño eficiente de la caldera, por encontrarse en su estado natural gaseoso y por no contener generalmente contaminantes.

### **Gas Licuado de Petróleo (GLP).**

Es un hidrocarburo, derivado del Petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina. Se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesitándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido. El GLP es una mezcla de propano y propileno en un 56% y butano y butileno en un 44%, es un hidrocarburo que a temperatura ordinaria y presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso. Tiene la propiedad de pasar al estado líquido al someterlo a una presión relativamente superior a la atmosférica, propiedad que le confiere la gran ventaja de poder ser almacenado en estado líquido, ocupando un volumen muy reducido. Para comprender las características físicas - químicas y propiedades del butano y propano, es necesario conocer que los mismos están compuestos por partículas extremadamente pequeñas en constante movimiento y a medida que aumenta la temperatura, más rápido es el movimiento de las partículas. (Vacacela, 2011).



Se denomina Gas Licuado de Petróleo a la mezcla de gases licuados, sobre todo propanos y butanos. La fuente de obtención de este combustible son las refinerías y las plantas de proceso de gas natural las cuales aportan alrededor del 25% y 75% respectivamente. En condiciones normales de presión y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el GLP se encuentra en estado gaseoso, sin embargo, para facilitar su almacenamiento y transporte, se licua y se vaporiza para emplearlo como combustible de calderas y motores. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a mayor presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 Atmósferas. (Valdeiglesias, 2006).

#### A) **Composición del GLP:**

Es un combustible que tiene una composición química donde predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas, la cual contiene impurezas principales, como son el propileno o butileno o una mezcla de estos.

Los gases butano y propano, en estado puro, son hidrocarburos del tipo  $C_nH_{2n+2}$

- **Butano:**  $C_4H_{10}$
- **Propano:**  $C_3H_8$

La composición más habitual de los GLP, es un 40% de butano y un 60% de propano, aunque en este estudio también se analizarán las propiedades de cada compuesto por separado. Debido a su falta de olor y color en su estado natural, al GLP se le agrega odorizantes, que son derivados de azufre como medida de seguridad, con el fin de darle un olor característico para detectar posibles fugas. (Valdeiglesias, 2006).

## **B) Obtención del GLP:**

Las fuentes de obtención de este combustible son de refinерías y de plantas de proceso de gas natural, las cuales aportan alrededor de un 25% y 75% respectivamente.

Es un hidrocarburo (Hidro = Hidrógeno + Carburo = Carbono) derivado del petróleo, que se obtiene tal y como se ha dicho anteriormente durante el proceso de refinación de otro derivado llamado gasolina. Su nombre, Licuado del Petróleo, proviene de convertir el estado gaseoso en que se encuentra en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesitándose 273 litros de vapor para obtener 1 litro de gas líquido.

El petróleo se somete a una operación denominada destilación, mediante la cual se van separando ordenadamente, de acuerdo con sus densidades y puntos de ebullición, los diversos componentes: gasolinas ligeras, kerosenos, butano, propano, gas-oil, fuel-oil y aceites pesados.

Los gases derivados de esta destilación que forman el grupo de los GLP son el butano (40%) y el propano (60%), que se distinguen entre sí por su composición química, presión, punto de ebullición y en su poder calorífico.

La obtención del GLP a partir de gas natural es conocida como proceso de licuefacción del gas licuado del petróleo. Dicho proceso es explicado a continuación.

El gas que se envía a plantas de proceso está constituido por metano, etano, propano, butano e hidrocarburos más pesados, así como por impurezas tales como el azufre.

En una primera etapa la corriente del gas pasa a una planta endulzadora, lugar donde se elimina el azufre. Posteriormente se introduce en una planta criogénica, en la cual mediante enfriamiento y expansiones

sucesivas se obtienen dos corrientes, una gaseosa formada básicamente por metano (gas residual) y la otra líquida (licuables).

En el proceso siguiente de fraccionamiento, la fase líquida se separa en diferentes componentes: etano, gas LP y gasolinas naturales.

Para facilitar su transporte y almacenamiento, el gas licuado del petróleo que se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura, se licua y se utiliza abajas presiones (entre 5 y 9 bar) para así mantener la en su estado. El almacenamiento se realiza en tanques o en depósitos. (REPSOL, 2014)

Los elementos necesarios en una estación de suministro de GLP son:

- Zona de almacenamiento de GLP (depósitos dimensionados en función del número de vehículos).
- Estación de bombeo: formada por las bombas y red de tuberías para llevar el gas en fase líquida hasta los surtidores.
- Zona de equipos de surtidores, que normalmente son isletas para la colocación de los surtidores de GLP.

### **C) Consumo de GLP:**

Inmediatamente se evapora, pasando del estado líquido al gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno inverso al de la licuación.

Se consume en forma de vapor en los quemadores de estufas, calentadores de agua, calefactores, etc. Este vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro o tanque, ya que en ese momento tiende a escapar la presión del recipiente, haciendo que hierva el líquido para formar más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continuará hirviendo el líquido, tomando el calor necesario para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro, de esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse. (Vacacela, 2011).

#### D) **Propiedades del Gas Licuado de Petróleo:**

- **Color.** Tanto en su estado líquido como en su estado gaseoso. Sólo se hace visible cuando el gas líquido es liberado en forma muy rápida al medioambiente, porque en ese momento se produce una transformación o cambio de estado, de líquido a gas o vapor. Se puede decir que es gas invisible mientras no esté saturado de humedad y vapor cuando es saturado de humedad y visible por las gotas de agua en suspensión.
- **Olor.** Por lo que para su comercialización se exige que sea mezclado con una sustancia odorizante. Los más usados son algunos sulfuros y /o mercaptanos que por su costo e intensidad del olor debe ser dosificado en aproximadamente 1 Kg. Por cada 80,000 litros de gas licuado de petróleo, esta sustancia permite que en caso de fuga de gas LP esta pueda ser fácilmente detectada.
- **Densidad (estado líquido).** En su fase líquida es más liviano que el agua, en aproximadamente la mitad de su peso, cuando existe derrame de gas líquido y este inunda bajo nivel de superficie y/o redes de conductos que contienen agua u otro fluido, el gas LP en estado líquido permanecerá por encima del nivel superior, moviéndose conjuntamente con el flujo de agua y al mismo tiempo también estará vaporizándose, de tal forma que existe alta probabilidad de que las condiciones se den para que haya deflagración, en el mismo lugar del derrame o en un sitio cercano o alejado de donde se derramo el gas LP.
- **Poder disolvente.** Los gases LP en estado líquido son disolventes del caucho natural, grasas, aceites, pinturas, etc. En estado gaseoso disuelve parcialmente estas sustancias. El caucho sintético resiste perfectamente su acción, por lo que cuando se seleccionan los materiales que estarán en contacto directo con el gas tendrá que tenerse bien presente esta propiedad (para empaquetaduras, selladores, etc...).
- **Densidad (estado gaseoso).** En su fase vapor es más pesado que el aire en aproximadamente dos veces, por tal razón cuando existe una fuga o es liberado por cualquier circunstancia al medio ambiente, este tiende a

buscar las partes o áreas cercanas más bajas, donde sino existe movimiento de aire, permanecerá inmóvil, con una gran probabilidad de ser el causante de una deflagración.

- **Toxicidad.** Los gases licuados de Petróleo no son tóxicos, la acción fisiológica sobre el organismo, producida por una posible inhalación, se traduce en una ligera acción anestésica; pero sí puede producir asfixia cuando la persona se encuentra expuesta en un lugar cerrado que contenga una atmósfera bien concentrada de gas LP, en la cual prácticamente no exista oxígeno. En cualquiera de los casos el paciente tiene que ser alejado para brindarle el auxilio adecuado.

**Tabla 01:** Propiedades físico químicas del GLP comercial y componentes.

Nombre	Propano	Butano	Mezcla 70% -30%
Fórmula química	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Gravedad específica (líquido)	0.508	0.584	0.531
Gravedad específica (vapor)	1.522	2.006	1.667
Temperatura de ebullición (°C)	-42.1	-0.5	-162.2
Temperatura máxima de llama (°C)	1925	1895	1916
Inflamabilidad: límites superior e inferior	9.5	8.4	9.2
	2.4	1.9	2.2
Aire para la combustión	24x 1	31x1	26x1
Poder calorífico superior kcal/kg	12052	11867	11900
Poder calorífico inferior kcal/kg	11082	10938	11082
Poder calorífico:			
BTU/kg (líquido)	47659	46768	47369
BTU/litro (líquido)	24238	27432	25196
kcal/litro (líquido)	6105	6910	6347
BTU/m <sup>3</sup> (vapor)	91000	119000	99000
	23000	30000	25000
Metros cúbicos de vapor por galón del líquido	1.032	0.9	0.99
Litros de vapor por litros de líquido	272.72	237.93	262
Potencia de calentamiento (kW/m <sup>3</sup> )	25	32	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) (líquido)			506.09
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) (vapor)			2.095

Fuente: Elaboración propia.

- **Algunas de sus propiedades del GLP más significativas:**

No son tóxicos ni corrosivos, solo se desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.

No contiene plomo ni ningún aditivo añadido.

No contiene azufre en su composición.

Insoluble en agua, Soluble en alcohol, benceno.

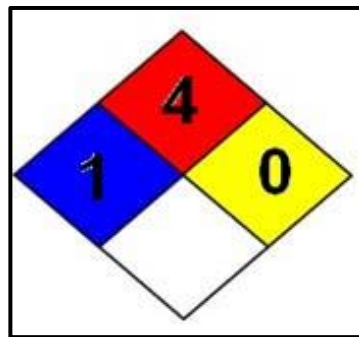
Son inodoros e incoloros, sin embargo para detectar su fuga se le añaden sustancias que producen un olor fuerte y desagradable.

Son más pesados que el aire, si tienen alguna pequeña fuga pueden extenderse por el suelo y los fosos de inspección.

Extremadamente inflamable se enciende con facilidad los contenedores pueden explotar al someterlos al calor.

La clasificación de riesgos según la NFPA (National Fire Protection Association) es la siguiente: (Clasificación NFPA 704-49/325 M, Riesgo de salud: **1**, Inflamabilidad: **4**, Reactividad: **0**, Numero UN: **UN – 1075**).

Figura 11: Clasificación de riesgos del GLP.



Fuente: Petroperú.

### **Condiciones de combustión**

Otro de los factores que afectan la eficiencia global del proceso de vapor, son las maniobras de ajuste (maniobras del operador de la caldera) en la combustión, pues de modo directo o indirecto afectan:

- El exceso de aire de combustión.
- La longitud de la llama.
- La turbulencia del aire/combustible a la salida del quemador (velocidad de rotación del aire).
- La turbulencia en el hogar.
- La temperatura de combustión.
- La distribución del aire.

#### **2.4.4 Control y regulación de una caldera**

Cuando una caldera esta en producción, existe un equilibrio entre la potencia de su salida y el proceso energético que atiende. Es decir, si la caldera produce una determinada cantidad de kilos por hora de vapor, con una entalpia determinada, esta energía equivalente es la que está recibiendo el proceso que atiende. Entonces, el proceso consume exactamente esa energía sin considerar las pérdidas. Si cualquiera de los equipos de dicha planta, además del consumo normal, consume un excedente de vapor, el control debe suministrar la energía necesaria a la caldera para compensar este excedente que se está consumiendo ahora.

El control de combustión es el conjunto de dispositivos encargados de manejar las demandas o reducciones de energía a la salida de la caldera. La energía de salida de la caldera es función de la rata de combustibles y aire correspondiente, asociado con el agua que se requiera para la producción de vapor. De esta manera, si los circuitos de combustible y aire están bien mantenidos, con su instrumentación bien ajustada y calibrada, la solicitud del master de presión, responsable del control de la caldera, responderá a los cambios sin intervención del operador.

#### **Quemadores**

Los quemadores son los equipos encargados de suministrar y acondicionar el combustible para que, mezclado con el aire en presencia de llama, se obtenga una eficiente combustión. La llama de la combustión debe ser estable,



uniforme y de apariencia oxidante, de manera que se realice una distribución adecuada de calor en el hogar. Normalmente una caldera viene diseñada para operar con dos tipos de combustibles: gas y combustible líquido o fuel oil, llamado también, combustóleo.

### **Quemadores de gas**

El quemador de gas es una cámara o anillo toroidal. Esta disposición permite mayor confiabilidad de la operación del anillo al asegurar el flujo del gas, aunque los orificios superficiales se taponeen con el tiempo. Las boquillas permiten al anillo operar sin mayor restricción del gas al quemador.

El gas combustible que sale por los orificios y se dirige, por la acción de la rotación del aire de los registros, en forma tangencial hacia la garganta (ollas) del quemador, forma un cono de combustión que se esparce por el horno en forma de energía radiante. La reacción química del aire y el combustible, generan el desprendimiento de calor radiante y de convección. El gas, por su naturaleza, es un combustible que requiere poca cantidad de aire, en comparación con el que requiere el combustible líquido. La combustión con gas no produce mucho hollín ni cenizas y no hay tampoco sales de azufre. En general, el gas combustible ofrece mejores garantías en combustión que el combustible líquido, pues no requiere de almacenamiento, ni calentamiento para la combustión, se requiere un bajo mantenimiento de las superficies de transferencia de calor y se manejan bajas frecuencias de deshollinado.

Figura 12: Quemador de Gas Natural, marca Wayne (izquierda) y Gas Natural y GLP, marca Flaxmer (derecha)



Fuente: [directindustry.es](http://directindustry.es)

### **Quemadores de líquido**

El combustible líquido, por razón de su estado, debe ser atomizado para incrementar la superficie de contacto del combustible con el aire y facilitar el proceso de combustión. La atomización es el proceso que se realiza para pulverizar en pequeñas gotas el combustible líquido y propiciar que éste se convierta en microscópicas gotas de vapor combustible líquido para su adecuada combustión en un tamaño tal, que cuando hace ignición en la salida de la boquilla, avanza por la zona de radiación como una pequeña bola de fuego, consumiéndose hasta extinguirse antes de salir del horno.

Esta pulverización se realiza generalmente con el vapor de agua producido por la misma caldera, pero también se utiliza el aire como elemento de atomización. Aunque el vapor produce una buena atomización, presenta como desventaja que tiene un mayor contenido de agua en los gases de combustión.

Figura 13: Quemador con combustible líquido, marca Career



Fuente: <http://es.aliexpress.com>

## 2.4.5 Parámetros de Operación y Diseño de una Caldera

### Parámetros Técnicos

- BHP (Boiler Horse Power):

Es un parámetro de comparación entre calderos; este valor teórico está referido a la capacidad de generar 15.65 Kg/hora de vapor saturado a 1 Kgf/cm<sup>2</sup> y a 100 °C, dentro de un caldero cuya superficie de transferencia de calor es de 0.929 m<sup>2</sup>. Si para esas condiciones el calor latente de vaporización es  $h_{fg} = 538.9 \text{ Kcal /Kg}$ , entonces:

1 BHP = 538.9 Kcal /Kg \* 15.65 Kg/hora de vapor = 8437 Kcal / hora de vapor. Equivale a 9,81 kW.

- Potencia calorífica suministrada al caldero ( $P_{sum}$ )

Es un parámetro que permite evaluar la potencia entregada por el combustible en función a su poder calorífico al caldero, y se evalúa según la siguiente ecuación:

Del Libro “**KOHAN. (2000).Manual de calderas** se obtuvo las siguientes fórmulas.

$$P_{sum.} = \dot{m}_c * PCI \quad (1)$$

Dónde:

$P_{sum.}$  = Potencia calorífica suministrada al caldero.

$\dot{m}_c$  = Flujo másico de combustible

$PCI$  = Poder calorífico inferior del combustible.

- Factor de Carga ( $FC$ )

Es un parámetro que permite comparar la capacidad de producción de vapor en BHP, con los BHP nominales del generador de vapor, y permite conocer que tanto de lo máximo de calor que puede producir un generador de vapor brinda.

$$FC = \frac{BHP \text{ de operación}}{BHP \text{ nominales}} * 100\% \quad (2)$$

Donde los BHP de operación se obtienen según la siguiente ecuación:

$$BHP \text{ de operación} = \dot{m}_v * (h_g - h_i) \quad (3)$$

Dónde:

$\dot{m}_v$  = Flujo másico de vapor generado

$h_g$  = Entalpia en el estado de vapor saturado a la presión de operación del generador de vapor pirotubular.

$h_i$ ) = Entalpia a condiciones de ingreso del agua en el generador de vapor pirotubular, a presión de operación y a temperatura T.

Teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.2, con el cual el factor de carga es 80% se determina los BHP nominales o potencia nominal de la caldera.

- Rendimiento de un caldero ( $\eta$ )

Permite determinar el grado de aprovechamiento del calor suministrado por el combustible, y el calor útil disponible aprovechado por el agua para transformarse en vapor saturado según el libro Kohan, A. (2000). La ecuación para determinar la eficiencia es la siguiente:

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_g - h_i)}{\dot{m}_c * pci} * 100\% \quad (4)$$

Dónde:

$\eta$  = Eficiencia térmica del caldero pirotubular.

$\dot{m}_v$  = Flujo de vapor generado.

$\dot{m}_c$  = Flujo másico del combustible.

### **Parámetros Técnicos**

#### **Presiones:**

**Presión de consumo:** es la presión del vapor requerido en los centros de consumo de energía. Se toma en cuenta el valor de la presión con mayor valor deseado de todos los equipos considerados en la planta.

**Presión de operación:** Es la presión a la cual opera normalmente un equipo a presión para una operación segura. Se determina con un margen de seguridad entre 50 a 100% de la presión de consumo.

$$Presión_{operación} = [1.5 - 2.0]Presión_{consumo} \dots \dots \dots (5)$$

**Presión de diseño:** Valor de la presión que se considera durante el diseño de los elementos de los equipos a presión.

$$Presión_{diseño} = [1.5 - 1.2]Presión_{operación} \dots \dots \dots (6)$$

**Presión de trabajo máxima permisible:** Es la presión máxima para la cual un equipo fue diseñado y construido, de acuerdo a los principios establecidos por ASME. Se establece un margen de seguridad entre la presión de diseño y la presión de trabajo máxima permisible.

**Prueba hidrostática:** Prueba a que deben ser sometidos los equipos a presión. Es una prueba de hermeticidad y resistencia. Se realiza por medio de una bomba manual de presión de agua. Los equipos a presión son probados hidrostáticamente a 1.5 veces la presión máxima de trabajo permisible.

### **Dimensionamiento de los Tubos**

El código ASME en su artículo PFT-12 establece los requerimientos para el espesor del tubo en función de su diámetro exterior, obteniéndose como resultado la máxima presión de trabajo admisible.

Se debe también conocer que la fijación de los tubos se hace de diversas formas, siendo la forma más usada en calderas Pirotubulares de presión de hasta 300 PSI el emplear el expandido mecánico (en frío) mediante una herramienta especial que abre el extremo del tubo hasta ajustarlo contra el borde de la perforación en la placa-espejo. Generalmente al proceso de expandir le sigue el rebordeado del extremo del tubo para asegurar una mejor unión.

Esto se practica mayormente en el extremo del tubo correspondiente a la cámara de combustión.

También es usado en las calderas, la unión soldada del tubo en la placa, sobre todo en la placa posterior (lado contiguo a la cámara de combustión).

Además la tabla PFT-12.1 del Código ASME expone las máximas presiones de trabajo en función del diámetro del tubo y su espesor.

De la Tesis **“DISEÑO DE CALDERA DOMESTICA PARA QUEMAR BOSTA” Suasnabar Dávila, M. (2014)** se obtuvo las siguientes fórmulas.

Determinamos la longitud de la tubería  $L_{tubo}$  con la siguiente ecuación:

$$L_{tubo} = 0.048 \times BHP_{nominal} + 0.315 \dots \dots \dots (7)$$

Determinamos el área lateral de cada tubo o área de transferencia de calor de cada tubo individual:  $A_{tct}$  con la siguiente ecuación:

$$A_{tct} = \pi \times D_{ext} \times L_{tubo} \dots \dots \dots (8)$$

Área de transferencia de calor de la cámara de combustión:  $A_{tcc}$  con la siguiente ecuación:

$$A_{tcc} = \pi \times D_{ext} \times L_{tubo} \dots \dots \dots (9)$$

Determinamos el Área Total de Transferencia de Calor o Área de Calefacción:  $A_{TTC}$  cuya relación se encuentra en función de la potencia nominal del caldero:

$$A_{TTC} = 0.465 \times BHP_{nominal} - 0.004 \dots \dots \dots (10)$$

Finalmente determinamos el número de tubos  $N_{tubos}$  requeridos para esta área:

$$N_{tubos} = \frac{A_{TTC} - A_{tcc}}{A_{tct}} \dots \dots \dots (11)$$

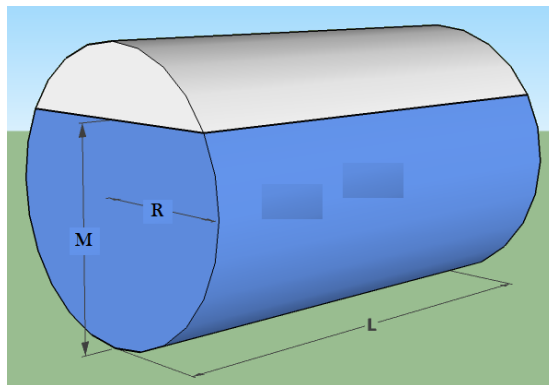
Además tener presente que en el caldero existirán dos zonas bien marcadas, la zona inferior o de líquido y la zona superior o de vapor; la altura diametral de la cámara de vapor y se recomienda que esté en el rango del (15 al 35) % del diámetro interior del casco o diámetro de la placa portatubo.

### Capacidad de Agua

Para el cálculo del volumen de agua que requiere la caldera, tal como se muestra en la figura 14, es necesario indicar que está relacionado con el consumo de vapor de los equipos del proceso productivo, más aun por ser un equipo de laboratorio, manipulado por alumnos, por ello la necesidad de usar visor de nivel de agua.

Entonces si se requiere una producción continua es necesario considerar el agua de consumo para reposición, es igual a la suma del consumo de vapor que se requiera en la práctica, más la debida a fugas eventuales, etc., que se han estimado en su conjunto en un 15% más, del vapor que se genere.

Figura 14: Esquema de un tanque horizontal



Fuente: Elaboración propia

De la Tesis “**Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor**” Punina Guerrero, D & Arcos Robayo, J. (2014) se obtuvo las siguientes fórmulas.



$$V_{H_2O} = L * \left[ R^2 \sin^{-1} \left( \frac{M - R}{R} \right) + (M - R) \sqrt{2RM - M^2} + \frac{\pi R^2}{2} \right] \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

$V_{H_2O}$  : Volumen del agua sin considerar la cámara de formación de vapor en  $m^3$

L: Longitud del cilindro efectivo con agua en m

R: Radio del cilindro interno con agua en m

M: Nivel del agua en el cilindro en m

Volumen de agua el volumen de agua que ocupan los *nt* tubos de gases y el tubo de la cámara de combustión.

$$V_{tubos} = L * [\pi(nt * rt^2 + rcc^2)] \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

*nt*: numero de tubos.

*rt*: Radio de tubos en m.

*rcc*: Radio del tubo de la cámara de combustión en m.

Volumen efectivo de agua requerido para el caldero pirotubular será la diferencia de volúmenes del tanque horizontal y volumen que ocupan los tubos:

$$V_{H_2O\ efectivo} = V_{H_2O} - V_{tubos} \dots \dots \dots (14)$$

## COMBUSTIÓN

La combustión de hidrocarburos en aire involucra centenares de reacciones químicas elementales y decenas de especies químicas. El cálculo de tales problemas está fuera del alcance del ingeniero de diseño o de operación de una planta térmica, por lo que se plantean casos simplificados de combustión

denominada técnica, basados en el análisis de la reacción de un solo paso. (DANILIN, 1999)

Considerando la riqueza de la mezcla  $\phi$ , se presentan tres casos:

1. Combustión con exceso de combustible (combustión rica)
2. Combustión estequiométrica
3. Combustión con exceso de aire (combustión pobre)

Los productos de la combustión de los hidrocarburos en aire se denominan genéricamente humos, y están constituidos por dióxido de carbono, agua y el nitrógeno del aire, comúnmente denominado balasto. En los casos de combustión rica o pobre aparecerán también entre los productos de combustión el combustible (rica) o el aire (pobre) que haya en exceso.

Estos casos, en los que sólo aparecen las especies mencionadas, se denominan de combustión completa.

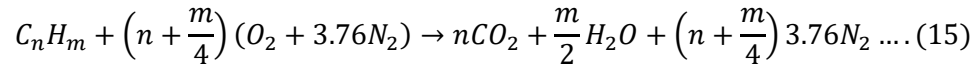
Como se menciona más arriba, se forman en la combustión muchas otras especies, y ocasionalmente algunas de ellas aparecen entre los productos. Estos son casos de combustión incompleta. En el análisis técnico se analizan solamente dos casos que son de interés económico y ambiental de acuerdo a si:

1. Los humos contienen monóxido de carbono CO (combustión de Ostwald)
2. Los humos contienen CO e Hidrógeno molecular H<sub>2</sub> (combustión de Kissel)

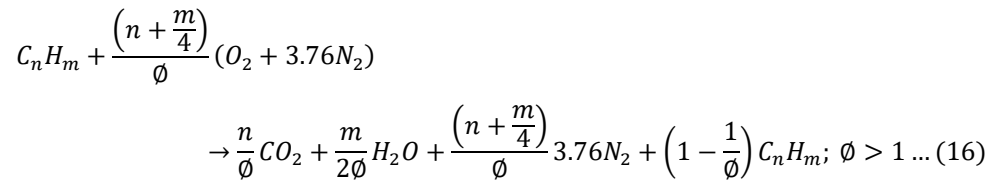
Ambos casos pueden presentarse para distintos valores de riqueza de mezcla.

Para el hidrocarburo de composición general  $C_nH_m$  escribimos la reacción de combustión completa estequiométrica:

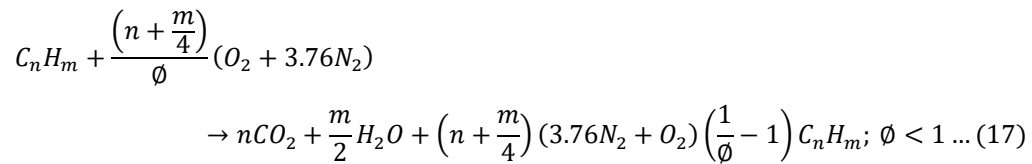
De la Tesis “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI CALDERA PIROTUBULAR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR**” Iguarán Duarte, O & Martínez Barrios, D. (2008) se tomó como referencia las siguientes ecuaciones.



Para la combustión con exceso de aire de combustible:



Y con exceso de aire:



Entalpía de reacción de combustión

$$\Delta H_c = \sum_{reag} n_i (\bar{h}_{f,i}^\circ + \Delta \bar{h}_i) - \sum_{prod} n_i (\bar{h}_{f,i}^\circ + \Delta \bar{h}_i) \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

$\Delta H_c$ : Entalpía de combustión [kJ/kg]

$\bar{h}_{f,i}^\circ$ : Entalpía de formación del compuesto  $i$  [kJ/kmol]

$n_i$ : Número de kilomoles delo compuesto  $i$ , para 100 kg de combustible [kmol]

$\Delta \bar{h}_i$ : Variación de la entalpía sensible del compuesto  $i$  [kJ/kmol]

Si la reacción sucede a condición estándar (1atm. y 25 °C)

$$\Delta H_C^0 = \sum_{reag} (n_i \bar{h}_{f,i}^{\circ}) - \sum_{prod} (n_i \bar{h}_{f,i}^{\circ}) \dots \dots \dots (19)$$

Si la reacción sucede hipotéticamente en forma adiabática donde los reactivos entran a 25 °C. Todo el calor generado en la reacción se invierte en calentar los productos de combustión, entonces la temperatura de los productos de combustión se denomina Temperatura de Llama Adiabática.

$$\sum_{reag} n_i (\bar{h}_{f,i}^{\circ} + \Delta \bar{h}_i) = \sum_{prod} n_i (\bar{h}_{f,i}^{\circ} + \Delta \bar{h}_i) \dots \dots \dots (20)$$

# **CAPÍTULO III**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales Constructivos**

##### **Plancha de acero al carbono ASTM A36**

Plancha que se utilizó para: el cuerpo del caldero, denominado comúnmente como tambor o cilindro, el cual tiene un diámetro exterior de 457.2 mm, con un espesor de 0.0064 m y 1.0 m de longitud, y para los espejos del caldero, son de forma circular con un espesor de 0.0025 m en el cual se realizaron las 26 perforaciones.

##### **Tubería de acero al carbono ASTM A53 de 4"**

Tubería que cumple la función de FLUE o cámara de combustión en el cual se realiza la combustión, tubería con un diámetro exterior de 114.3 mm, con un espesor de 3.96 mm y una longitud de 1.15 m.

##### **Tubería de acero al carbono ASTM A53 de 2"**

Tubería que cumple la función de chimenea en el cual se expulsa los gases de la combustión, tubería con un diámetro exterior de 60.3 mm, espesor de 3.91 mm y una longitud de 0.30 m.

##### **Tubería de acero al carbono ASTM A53 de 1"**

Banco de tubos constituidos por 26 tubos, con un diámetro exterior de 33.4 mm, espesor de 3.38 mm y una longitud de 0.9 m.

##### **Termómetro**

Instrumento que cumple la función medir la temperatura del vapor saturado, de marca WEIZZ cuyos datos técnicos se muestran:

Sensor de temperatura: bimetal

Salida: posterior

Cuadrante: 100 mm (4")

Rangos: entre -50 y 600 °C

Exactitud: 1% del rango.

Estanqueidad: IP 54/65 según IEC 60529

Caja de acero inoxidable: AISI 304

Longitud de inserción: a requerimiento.

Conexión a proceso: 1/2" NPT

Conforme a las normas: ASME B40.3

Figura 15: Termómetro bimetálico WEISZ



Fuente: [www.weisz.com](http://www.weisz.com)

### **Manómetro**

Instrumento que cumple la función de medir la presión del vapor contenido en la cámara del caldero, de marca WIKA 837-1

## Aplicaciones

- Para medios gaseosos y líquidos, agresivos, de baja viscosidad y no cristalizantes, también en ambientes agresivos
- Aplicaciones CDA (Clean Dry Air)
- Alarma de reposición para bombonas de gas
- Maquinaria e instalaciones industriales

## Características

- Completamente en acero inoxidable
- Económico y fiable
- Compatible con contacto eléctrico (DN 50 mm)
- Rangos de indicación 0 ... 1.000 bar

Figura 16: Manómetro de presión WIKA



Fuente: [www.wika.es](http://www.wika.es)

## Indicador de nivel de agua

Equipo de seguridad que impide que los tubos internos en los cuales pasan los gases calientes, queden expuestos por un nivel bajo de agua, con lo cual provocaría una alza de temperatura y presión.



## **Pernos y Tuercas**

Utilizado para ajustar las tapas laterales de la caldera, donde se requirió 12 unidades por tapa de medida ½” x 2”, cuyas características son:

### **Características generales**

El tornillo DIN-933 es un tornillo que tiene una cabeza hexagonal.

Calidad 8.8

Todo rosca.

Su acabado es cincado.

Rosca métrica.

Cumple normas de fabricación internacionales.

Figura 17: Pernos y Tuercas



Fuente: [www.pernosytuercas.com.pe](http://www.pernosytuercas.com.pe)

## **Válvulas Tipo Globo para Vapor**

Para la apertura y cierre del vapor en el interior de la caldera, además para el sensor de nivel de agua de alimentación.

### **Características Técnicas:**

Válvulas de tipo globo fabricadas en bronce.

Asiento integrado al cuerpo.

Dimensiones según MSS-SP-80.

Conexión roscada según ANSI B2.1 (NPT).

Presión de prueba de estanqueidad: 27.6Barg,

Cuerpo: 41.4Barg.

Presión de servicio con vapor hasta 232C, 13.8Barg/ Agua, petróleo o gas sin golpes a 65C, 27.6Barg.

### **Válvula de Bola**

Material del cuerpo: acero inoxidable 316.

Material de la bola: acero inoxidable 316.

Cuerpo de dos piezas y bola flotante.

Conexión: Rosca hembra BSP o NPT.

Medidas: desde 1/4" á 3".

Paso total.

Asiento y juntas de RPTFE.

Máxima presión de trabajo PN63 (1000 WOG).

Eje anti explosión.

Temperatura de trabajo: -30 á 180°C.

Accionamiento por palanca.

Sistema de bloqueo por candado.

Figura 18: Válvula de Globo clase 200 (izquierda) y Válvula de Bola (derecha)



Fuente: [www.generavapor.com.pe](http://www.generavapor.com.pe)

## Quemador Estándar de GLP

Quemadores de latón con tratamiento de la superficie. Proporcionan una potencia constante con bajo consumo de gas. Por su diseño entregan una llama potente que no se ve afectada por vientos fuertes. Temperatura de la llama: 1850 °C ajustable, con grifo reductor de presión integrado en el soplete.

Comprende: Soplete de gas, manguera de 3 m. y Boquilla (70 mm)

Figura 19: Equipo de quemador estándar (izquierda) y Vista interna del quemador (derecha)



Fuente: <http://www.butsir.com/productos>.

**Empaque de Asbesto Grafitado:** (carbón) es uno de los materiales más estables y químicamente resistentes por encima de 450°C, no se funde (pero se sublima) cambia de su estado sólido a gaseoso (sin pasar por líquido) a temperaturas arriba de 2,980°C

Figura 20: Empaque para las bridas del caldero



Fuente: <http://www.empaqueseeisa.com>

# **CAPÍTULO IV**

## **CÁLCULOS Y RESULTADOS**

## IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS

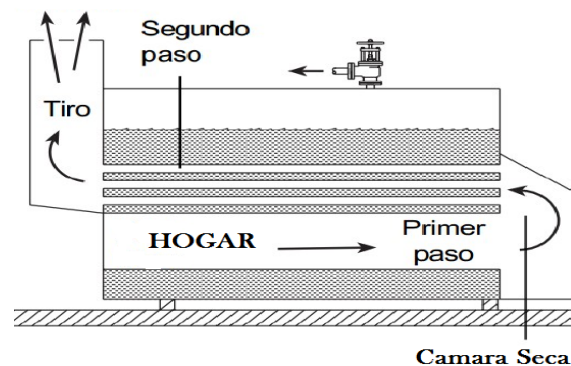
### 4.1 Parámetros de diseño de un Caldero Pirotubular

Los parámetros de diseño están en función a las condiciones a la cual se requiere que operen el equipo, por ello es necesario imponer condiciones iniciales, los que influirán en la caracterización térmica y en la distribución geométrica.

Teniendo en cuenta que el equipo es con fines académicos (laboratorio de termofluidos de Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.) en la cual el requerimiento de vapor saturado no es de la misma magnitud que en la industria, sin embargo se garantizara un flujo másico constante, en la figura 21 se presenta un modelo esquemático del caldero proyectado.

Dos pasos (paso 1 Hogar Zona de Liberación de Calor y Paso 2 Zona de tubos de Gases Calientes). Cámara seca o espalda seca (los gases calientes inciden en la tapa posterior de la caldera Pirotubular)

Figura 21: Modelo para el diseño del caldero pirotubular



<http://docslide.documents.tips/documents.html>

#### A) Consideraciones Iniciales de Diseño del Caldero Pirotubular

Para el diseño se consideró las condiciones más severas de operación con lo que se garantiza seguridad para la operación de la caldera evitando de esta manera posibles malos funcionamientos y evitando cualquier tipo de peligro que se pueda presentar.

La presión de diseño se ha tomado 6 bar que es mayor a la presión de operación de la caldera que operara a 3 bar.

### **Condición Nominal**

Potencia de Diseño: 6 BHP

Presión de Diseño: 6 bar

Rendimiento de Diseño: 85%

### **Condición Operación (Proyectado)**

En la evaluación preliminar de la presión de operación del caldero pirotubular se alcanzó los 3 bar manométricos en aproximadamente 40 minutos a máxima llama (regulada en la entrada de GLP al quemador) manteniéndose un flujo de vapor constante por lo que se obtiene los siguientes datos:

Considerando que la presión de diseño es función de la presión de operación:  
Presión de diseño: (1.5 a 2) Presión de Operación.

Presión de Operación: 3 bar

Potencia de operación: 4BHP

Temperatura del Agua de Alimentación: 20°C

Temperatura del Aire: 25°C

## **B) Calculo Térmico**

De la Tesis “**Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor**” Punina Guerrero, D & Arcos Robayo, J. (2014) se obtuvo las siguientes fórmulas.

Determinamos el flujo másico de vapor nominal:  $\dot{m}_{vn}$

$$\dot{m}_{vn} = \frac{BHP_{nominal}}{h_g - h_i}$$

Donde:

$$h_g = 2756.1 \text{ kJ/kg (Evaluado a 6 bar)}$$

$$h_i = 84.482 \text{ kJ/kg (Evaluado a 6 bar y } 20^\circ\text{C)}$$

Reemplazando tenemos:

$$\dot{m}_{vn} = 0.0220 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{vn} = 79.3 \text{ kg/h}$$

Determinamos el flujo másico de vapor nominal:  $\dot{m}_{vn}$

$$\dot{m}_{vn} = \frac{BHP_{nominal}}{h_g - h_i}$$

Donde Presión de operación: es 3 bar, debido a que la presión de diseño debe ser 1.5 a 2 de la presión de operación, entonces:

$$h_g = 2724.9 \text{ kJ/kg (Evaluado a 3 bar)}$$

$$h_i = 84.2 \text{ kJ/kg (Evaluado a 3 bar y } 20^\circ\text{C)}$$

Reemplazando tenemos:

$$\dot{m}_{vo} = 0.0149 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{vo} = 53.5 \text{ kg/h}$$

Determinamos el flujo másico de combustible nominal:  $\dot{m}_{cn}$

$$\dot{m}_{cn} = \frac{\dot{m}_{vn} \chi (h_g - h_i)}{PCI \chi \eta}$$

Donde:

PCI: Poder Calorífico del GLP (11 739.0 kCal/kg = 49 139.5 kJ/kg)

$\eta_{diseño}$ : Rendimiento de diseño, consideramos 85 %.

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$\dot{m}_{cn} = 0.001409 \text{ kg/s} = 5.1 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{cn} = 2.42 \text{ kg/m}^3$$

### C) Calculo del Número y Selección de Tuberías

Los tubos utilizados para la fabricación de la caldera fue de Numero de Cedula Sch 40, cuyas características de muestran en el anexo 5.

Para nuestro diseño se seleccionó tubería de acero al carbono ASTM A53:

Para los tubos de humo: Diámetro Nominal: DN = 1" (Diámetro exterior 33.4 mm, espesor 3.38 mm y Grado A.

Para la Chimenea: Diámetro Nominal: DN = 2" (Diámetro exterior 60.3mm, espesor 3.91mm Grado A.

Para el tubo de la combustión: Diámetro Nominal: DN = 4" (Diámetro exterior 114.3 mm, espesor 3.96 mm

De la Tesis **“DISEÑO DE CALDERA DOMESTICA PARA QUEMAR BOSTA” Suasnabar Dávila, M. (2014)** se obtuvo las siguientes fórmulas.

Determinamos la longitud de la tubería  $L_{tubo}$  con la siguiente ecuación:

$$L_{tubo} = 0.048xBHP_{nominal} + 0.315$$

Reemplazando tenemos:  $L_{tubo} = 0.603 \text{ m}$

El diseño del caldero de acuerdo al tamaño y aplicación será de dos pasos: un banco de tubos y una de la cámara de combustión u hogar.

Determinamos el área lateral de cada tubo o área de transferencia de calor de cada tubo individual:  $A_{tct}$  con la siguiente ecuación:

$$A_{tct} = \pi x D_{ext} x L_{tubo}$$

Reemplazando tenemos:  $A_{tct} = \pi x 0.0334 \text{ m} x 0.603 \text{ m}$



$$A_{tct} = 0.0633 \text{ m}^2$$

Determinamos el área lateral de la cámara de combustión que estará sumergida en agua o área de transferencia de calor de la cámara de combustión:  $A_{tcc}$  con la siguiente ecuación:

$$A_{tcc} = \pi x D_{ext} x L_{tubo}$$

Reemplazando tenemos:  $A_{tcc} = \pi x 0.1143 \text{ m} x 0.603 \text{ m}$

$$A_{tcc} = 0.2165 \text{ m}^2$$

Determinamos el Área Total de Transferencia de Calor o Área de Calefacción:  $A_{TTC}$  cuya relación se encuentra en función de la potencia nominal del caldero:

$$A_{TTC} = 0.465 x BHP_{nominal} - 0.004$$

Reemplazando tenemos:  $A_{TTC} = 2.786 \text{ m}^2$

Finalmente determinamos el número de tubos  $N_{tubos}$  requeridos para esta área:

$$N_{tubos} = \frac{A_{TTC} - A_{tcc}}{A_{tct}}$$

Reemplazando los valores en la relación anterior:  $N_{tubos} = 40.6 \cong 41 \text{ tubos de } 1''$

A este cálculo preliminar realizamos un ajuste del banco de tubos en función al tamaño (número de tubos elevado) y a la longitud del material (para maximizar ahorro de corte), para ello se considera que se debe garantizar el Área Total de Transferencia de Calor  $A_{TTC} = 2.786 \text{ m}^2$ , entonces:

Consideramos la longitud de la tubería  $L_{tubo} = 0.90 \text{ m}$

Determinamos la nueva área lateral de cada tubo o área de transferencia de calor de cada tubo individual:  $A_{tct}$  con la siguiente ecuación:

Reemplazando tenemos:  $A_{tct} = \pi \times 0.0334 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}$

$$A_{tct} = 0.0944 \text{ m}^2$$

Determinamos la nueva área lateral de la cámara de combustión que estará sumergida en agua o área de transferencia de calor de la cámara de combustión:  $A_{tcc}$  con la siguiente ecuación:

Reemplazando tenemos:  $A_{tcc} = \pi \times 0.1143 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}$

$$A_{tcc} = 0.3232 \text{ m}^2$$

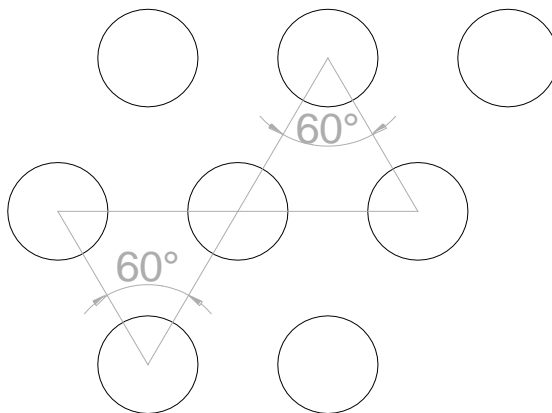
Finalmente determinamos el número de tubos  $N_{tubos}$  requeridos para esta área:

$$N_{tubos} = \frac{A_{TTC} - A_{tcc}}{A_{tct}}$$

Reemplazando los valores en la relación anterior:  $N_{tubos} \cong 26 \text{ tubos de } 1''$

En la figura 22 se muestra el arreglo de la disposición de los tubos el cual se considera en el diseño la forma triangular no rotada, el cual proporciona una mayor eficiencia de la transferencia de calor.

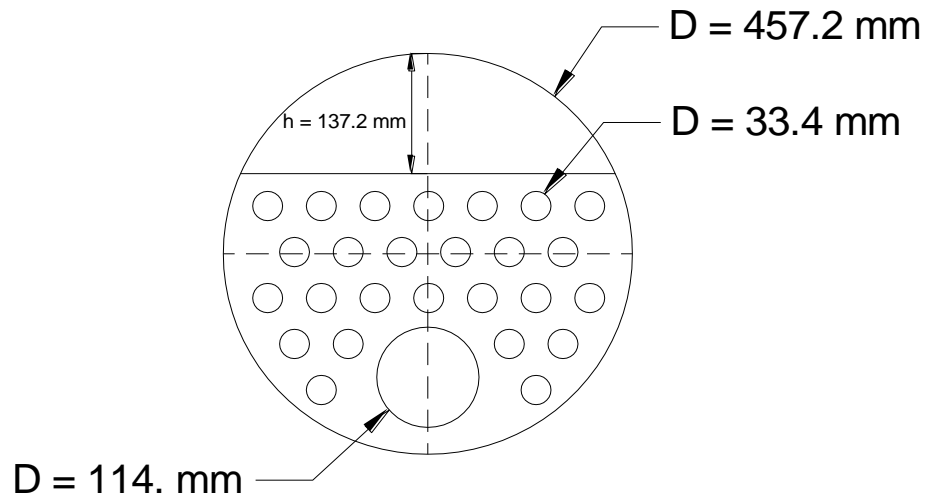
Figura 22: Arreglo triangular del banco de tubos



Fuente: Elaboración propia

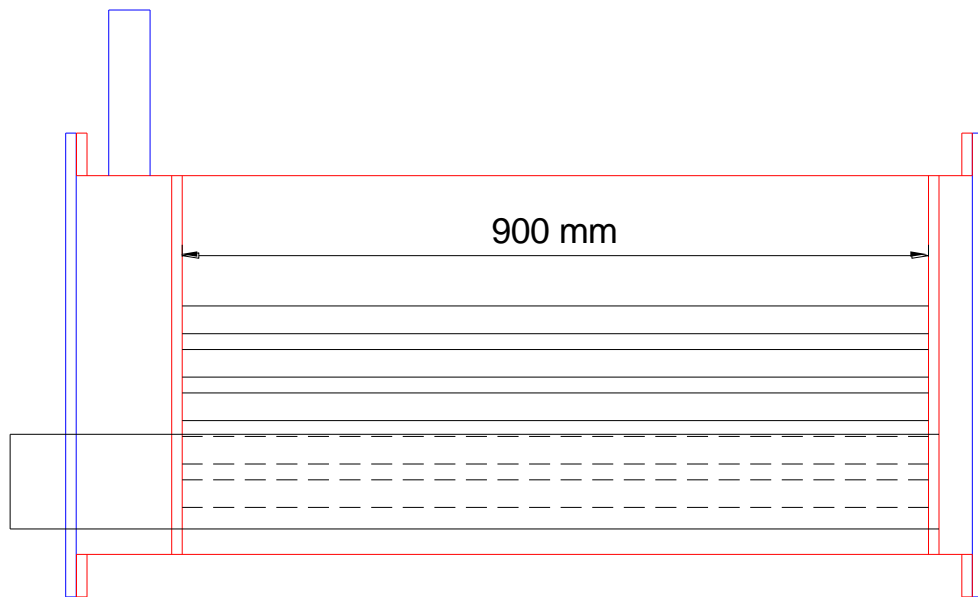
En la figura 23 se muestra el arreglo interno final de todos los tubos de transferencia de calor y el tubo de la cámara de combustión instalados en el cuerpo de la caldera que se diseñó un diámetro interno 457.2 mm.

Figura 23: Esquema en sección transversal del cuerpo de la Caldera



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Esquema en sección longitudinal del cuerpo de la Caldera



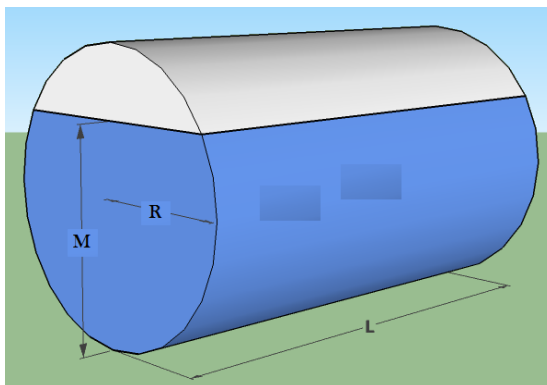
Fuente: Elaboración propia

#### D) Cálculo de la Capacidad de Agua en la caldera

A continuación, se realiza el cálculo de volumen de agua que almacenará el caldero para su operación, el cálculo del volumen efectivo se realiza en dos procedimientos, primero calcularemos el volumen de agua descontando la superficie de formación de vapor, segundo calculamos el volumen de agua descontando el volumen de agua que ocupa la cantidad de tubos de gases y el tubo de la cámara de combustión.

Calculo del volumen de agua sin considerar la cámara de formación de vapor, tal como se muestra en la figura 25.

Figura 25: Esquema isométrico del cuerpo de caldera



Fuente: Elaboración propia

De la Tesis “**Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor**” Punina Guerrero, D & Arcos Robayo, J. (2014) se obtuvo las siguientes fórmulas para los cálculos.

$$V_{H_2O} = L * \left[ R^2 \sin^{-1} \left( \frac{M - R}{R} \right) + (M - R) \sqrt{2RM - M^2} + \frac{\pi R^2}{2} \right]$$

Dónde:

$V_{H_2O}$  : Volumen del agua sin considerar la cámara de formación de vapor en  $m^3$

L: Longitud del cilindro efectivo con agua en m

R: Radio del cilindro interno con agua en m

M: Nivel del agua en el cilindro en m

De acuerdo al diseño calculado se tiene:

$$L = 0.90 \text{ m}$$

$$R = 0.2286 \text{ m}$$

$M = 0.32 \text{ m}$  (Se considera el 70% de la altura total, es decir, del diámetro interno del cuerpo)

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$V_{H_2O} = 0.9 * \left[ 0.2286^2 \sin^{-1} \left( \frac{0.32 - 0.2286}{0.2286} \right) - (0.32 - 0.2286) \sqrt{2 * 0.2286 * 0.32 - 0.32^2} + \frac{\pi 0.2286^2}{2} \right]$$

$$V_{H_2O} = 0.11045 \text{ m}^3$$

Calculo del volumen de agua el volumen de agua que ocupan los 26 tubos de gases y el tubo de la cámara de combustión. Como se muestra en la figura.

$$V_{tubos} = L * [\pi(nt * rt^2 + rcc^2)]$$

Donde:

$nt$ : numero de tubos (26 tubos)

$rt$ : radio de tubos en m(0.0167 m)

$rcc$ : radio del tubo de la cámara de combustión en m ( 0.05715 m)

Reemplazando:

$$V_{tubos} = 0.9 * [\pi(26 * 0.0167^2 + 0.05715^2)]$$

$$V_{tubos} = 0.02974 \text{ m}^3$$

Finalmente el volumen efectivo de agua para el caldero pirotubular será la diferencia de volúmenes:

$$V_{H_2O \text{ efectivo}} = V_{H_2O} - V_{tubos}$$

$$V_{H_2O \text{ efectivo}} = 0.11045 - 0.02974 = 0.08071 \text{ m}^3$$

$$V_{H_2O \text{ efectivo}} = 0.08071 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

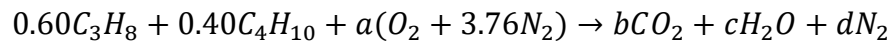
$$V_{H_2O \text{ efectivo}} = 80.71 \text{ L}$$

El valor encontrado equivale entonces a 80.71 litros de agua, consideramos que la densidad del agua de alimentación es de  $1000 \text{ kg/m}^3$  (Autor Yunus & Cengel, Mecánica de Fluidos).

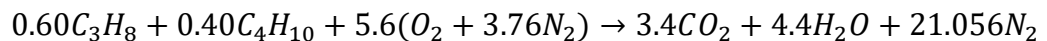
A partir de la propiedad del agua se realizará el cálculo de la energía almacenada por la cantidad de agua estimada.

### E) Estequiometria de la Combustión

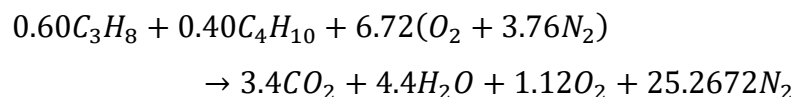
Se realiza un balance estequiometrico de la combustión combustible GLP, Gas Licuado del Petróleo, cuya composición se muestra en la tabla 1, donde se tiene 60% de propano y 40 % butano, entonces:



Luego de un balance de componentes se tiene que los coeficientes son:  $a = 5.6$ ,  $b = 3.4$ ,  $c = 4.4$  y  $d = 21.056$ , entonces la ecuación de la reacción quedara:



Se asume que la combustión se mezcla con exceso de aire al 20% de aire teórico, entonces la nueva ecuación de reacción será:



#### a) Calculo de los flujos máscicos de aire y gases de combustión:

De la Tesis “DISEÑO DE CALDERA DOMÉSTICA PARA QUEMAR BOSTA” Suasnabar Dávila, M. (2014) se obtuvo las siguientes fórmulas.

Determinamos la relación aire – combustible en masa:

$$R(A/C) = \frac{6.72 * 4.76 * 28.97}{0.60 * 44 + 0.40 * 58} = 18.683 \frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ comb}}$$

Luego teniendo ya estimado el flujo másico del combustible nominal o de diseño, procedemos a calcular el flujo másico de aire que se concentrara en el quemador.

$$R(A/C) = \dot{m}_{aire} / \dot{m}_{comb}$$

$$\dot{m}_{aire} = R(A/C) * \dot{m}_{comb} = 18.683 \frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ comb}} * 5.1 \frac{kg \text{ comb}}{h}$$

$$\dot{m}_{aire} = 95.3 \text{ kg aire/h}$$

Si realizamos un balance de masa en el caldero pirotubular tenemos que:

$$\dot{m}_{combustible} + \dot{m}_{aire} = \dot{m}_{gases}$$

Reemplazando en la relación anterior determinamos la cantidad de gases de la combustión que salen por la chimenea:

$$\dot{m}_{gases} = 5.1 \text{ kg GLP/h} + 95.3 \text{ kg aire/h}$$

$$\dot{m}_{gases} = 100.4 \text{ kg gases/h}$$

#### b) **Calculo de la Temperatura de Llama Adiabática**

Es importante determinar la temperatura de llama adiabática, aunque el quemador que se utilizara en nuestro equipo es del tipo industrial, tal como se muestra en la figura 19, donde se observa que la combustión no es en un ambiente adiabático estricto. Más aun la teoría nos indica que esta temperatura es la que se alcanza en la combustión cuando la reacción se efectúa sin intercambio de calor con el entorno y no hay otros efectos presentes, como efectos eléctricos, trabajo, ionización, etc. Y además la combustión asumida como completa.

De la Tesis “**Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor**” Punina Guerrero, D & Arcos Robayo, J. (2014) se obtuvo las siguientes ecuaciones.



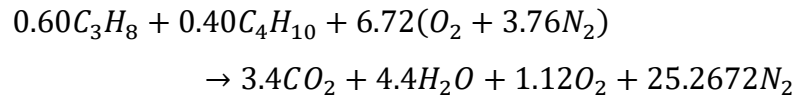
Para este proceso adiabático, la relación de temperatura de llama adiabática es:

$$H_{\text{Reactantes}} = H_{\text{Productos}}$$

De donde se tiene que:

$$\sum N_R \left( \bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_{298}^0 \right)_R = \sum N_P \left( \bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_{298}^0 \right)_P$$

A partir de la ecuación de reacción con exceso de aire al 20% de aire teórico, determinada anteriormente:



Considerando que los reactivos (combustible y aire) se encuentran en estado estándar (25° y 1 atm), entonces las diferencias de entalpias de la ecuación general serán cero, tal como mostrado en la tabla 02.

Tabla 02: Entalpias de Formación para los componentes del balance

Sustancia	$\bar{h}_f^0$ (Kj/Kmol)	$\bar{h} - \bar{h}_{298}^0$
$C_3H_8$ (g)	-103850	0
$C_4H_{10}$ (g)	-126150	0
$O_2$	0	-
$N_2$	0	-
$H_2O$	-241820	-
$CO_2$	-393520	-

Fuente: Termodinámica Técnica: Moran & Shapiro

Reemplazando en relación para la sumatoria de los reactantes:

$$\begin{aligned} \sum N_R (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_{298}^0)_R \\ = 0.6 * \left(-103850 \frac{kJ}{kmol}\right) + 0.4 * \left(-126150 \frac{kJ}{kmol}\right) + 6.72 * (0) \\ + 6.72 * 3.76(0) = -112770 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Reemplazando en relación para la sumatoria de los productos:

$$\begin{aligned} \sum N_P (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_{298}^0)_P \\ = 3.4 * (-393520 + (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0)) CO_2 + 4.4 * (-241820 + (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0)) H_2O \\ + 1.12 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) O_2 + 25.2672(\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) N_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum N_P (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_{298}^0)_P \\ = -2401976 + 3.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) CO_2 + 4.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) H_2O + 1.12 \\ * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) O_2 + 25.2672(\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) N_2 \end{aligned}$$

Igualando ambas expresiones tenemos:

$$\begin{aligned} 2289206 \text{ kJ} = 3.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) CO_2 + 4.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) H_2O + 1.12 * \\ (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) O_2 + 25.2672(\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) N_2 \end{aligned}$$

Entonces de acuerdo al procedimiento damos valores a los productos de la combustión para aproximar al valor de la igualdad: 2 289 206 kJ.

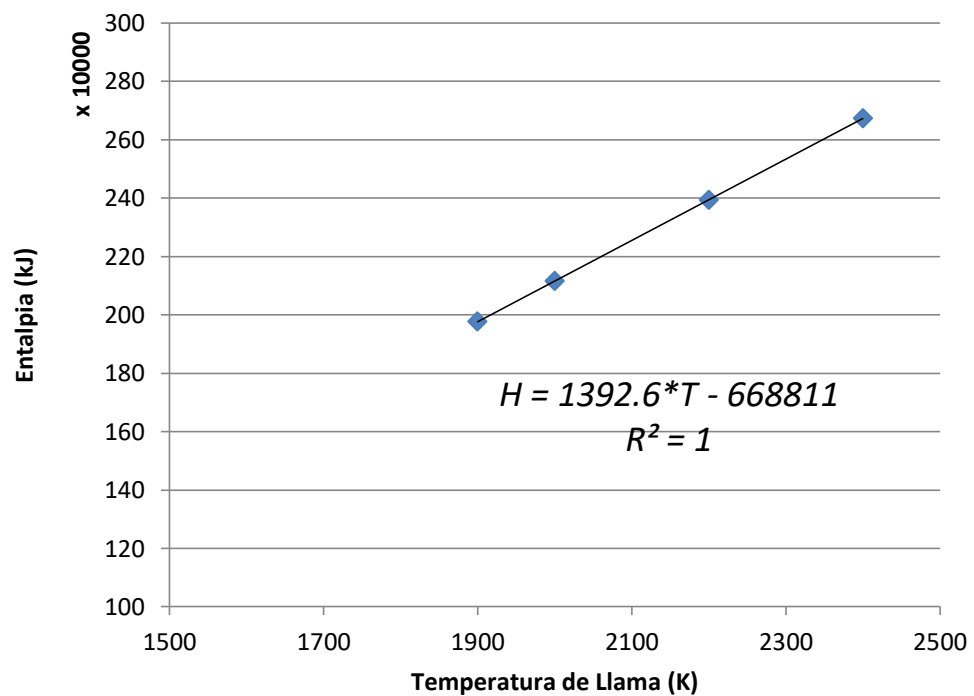
Tabla N°03: Interpolación de los valores del balance general

Productos	Temperatura (K)			
	2400	2200	2000	1900
$3.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) CO_2$	393648.6	352110.8	310892.6	290428.0
$4.4 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) H_2O$	412460.4	365873.2	320267.2	297906.4
$1.12 * (\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) O_2$	83387.4	74782.4	66277.1	62063.7
$25.2672(\bar{h} - \bar{h}_{298}^0) N_2$	1784875.0	1600980.3	1418424.8	1327766.1
TOTAL	2674371.4	2393746.7	2115861.7	1978164.2

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior el valor se encuentra entre las temperaturas de 2000 K y 2200 K, procedemos a realizar una interpolación lineal de acuerdo a la figura 26, se tiene una ecuación y en función a ello despejamos la temperatura de Llama adiabática que corresponde: 2124.1 K = 1851.1 °C.

Figura 26: Gráfica del comportamiento de los coeficientes a diversas temperaturas



#### 4.2 Construcción del Caldero Piro tubular

Para el proceso de construcción del caldero piro tubular, que se desarrolló en un taller estructuras metálicas, donde se contaba con todas las maquinas herramientas requeridas.

##### a) Cuerpo de la Caldera

El cuerpo de la caldera constituye los siguientes componentes:

**Tambor o cilindro:** Es el recipiente que conforma la parte externa del caldero, el material empleado es una plancha de acero al carbono ASTM A

**Espejos:** Conforman las paredes frontales y posterior del cuerpo de presión del caldero y son planchas de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.

Figura 27: Construcción del cuerpo de la caldera: Cilindro del caldero (izquierda) y maquinado de los espejos laterales con las perforaciones para los tubos de la cámara y banco de tubos (derecha)



Fuente: Fotos de campo

**Cámara de Combustión:** es el hogar o lugar donde se realiza la combustión y la generación de los gases de la combustión, el material utilizado es tubo Sch 40 de 4 pulgadas de acero al carbono sin costura en calidad ASTM A53 - Grado A

**Banco o haz de tubos:** está conformado por tubos de acero al carbono sin costura, Sch 40 de 1 pulgada en calidad certificada ASTM A53 – Grado A, según diseño se requirió 26 tubos de 0.90 m de longitud las que se fijaron a los espejos del caldero.

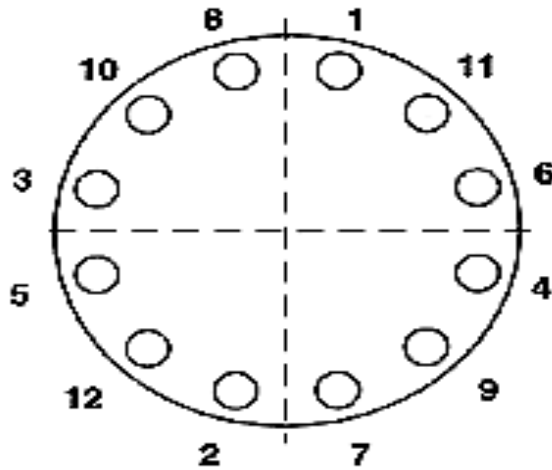
Figura 28: Construcción de tubos de cámara de combustión y Banco de tubos: Parte frontal de los tubos, entrada de cámara de combustión (izquierda) parte posterior salida de gases y entrada al banco de tubos (derecha)



Fuente: Fotos de campo

**Brida de la Caldera:** está formado por 12 agujeros adecuados para los pernos de ½” zincado, es importante recalcar el orden de apriete y el torque requerido según necesidad y calidad del material. Para el apriete de los pernos, comprobar la posición de la contrabrida, centrarla y apretar las tuercas con la llave, operando en el orden de los números de la figura 29, una vez realizadas las pruebas hidráulicas, es indispensable comprobar el apriete de los pernos y apretarlos nuevamente.

Figura 29: Secuencia de apreté de los pernos en la brida de la caldera



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 Evaluación de los parámetros de funcionamiento del caldero

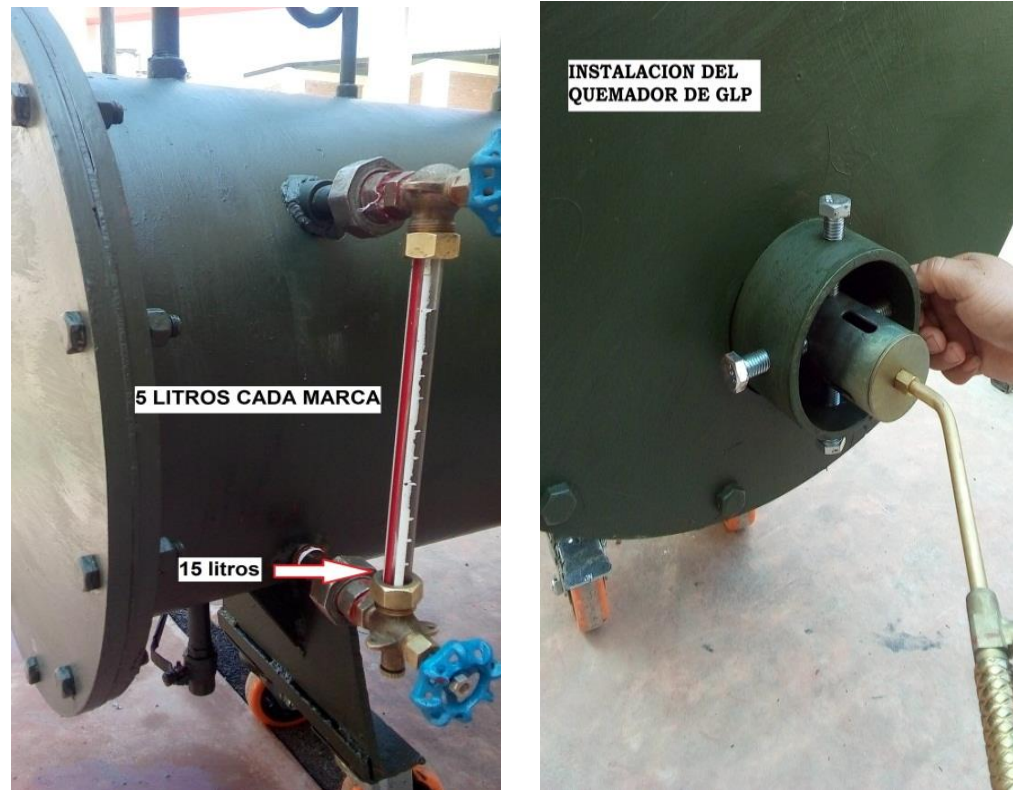
Para la evaluación del caldero pirotubular se procedió a verificar:

La instalación correcta de los instrumentos de medición, como manómetro, termómetro así como la sujeción del quemador de GLP y la respectiva manguera a conexión con el tanque de combustible.

La ubicación del caldero en zona abierta, para prever algún imprevisto en la prueba.

El llenado de agua del caldero, en la cual se registró una capacidad de 60 litros, verificando el visor de nivel de agua.

Figura 30: Llenado del caldero (izquierda) e Instalación del quemador (derecha)



Fuente: Fotos de campo

Se procedió a pesar el balón de GLP inicialmente (tiempo cero en la tabla 04) y encender el quemador, con lo cual se inició la evaluación. Se controló el peso del GLP con una balanza electrónica digital en intervalos de tiempo de 5 minutos, hasta alcanzar la presión de 2 bar absolutos, que es la presión en la cual se iniciara los registros de presión, temperatura y consumo de agua, los datos registrados se muestran en la tabla 04.

Es importante resaltar que en aproximadamente 35 min ya se tenía una presión de 1 bar absoluto y al aperturar la válvula de vapor se tenía un flujo considerable.

Tabla 04: Consumo de GLP para el calentamiento del agua

Tiempo (min)	Consumo de Gas (kg)
0	20.75
5	20.56
10	20.38
15	20.22
20	20.06
25	19.90
30	19.75
35	19.51
40	19.46
45	19.32
50	19.19

Fuente: Datos de campo

De la tabla 04 determinamos el consumo de GLP en ese periodo de calentamiento, de la forma (consumo inicial-consumo final)/ tiempo, donde las diferencias en kg y el tiempo en hora (kg/h), sabiendo que la densidad del GLP es 2.095 kg/m<sup>3</sup>, determinamos el consumo en m<sup>3</sup>/h, según la tabla 05.

Tabla 05: Flujo de GLP en el proceso de calentamiento del agua

Consumo	
Kg/h	m <sup>3</sup> /h
2.28	1.088
2.16	1.031
1.92	0.916
1.92	0.916
1.92	0.916
1.80	0.859
2.88	1.375
0.60	0.286
1.68	0.802
1.56	0.745

Fuente: Datos de campo



Cuando se mantuvo una presión de trabajo de 2 bar absoluto se procedió a la apertura de la válvula de vapor para realizar las mediciones correspondiente de presión y temperatura a diferentes intervalos de tiempo y esto registro diferentes consumos de GLP y agua, que en teoría es la cantidad de vapor que se está produciendo, esta información se muestra en la tabla 06.

Tabla 06: Datos registrados en la apertura de la válvula de vapor

N°	Tiempo (min)	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Consumo de GLP (kg)	Consumo de Agua (L)
1	51	1	120	19.47	4
2	55	1.5	140	19.35	4
3	59	2	140	19.22	4
4	60	2	130	19.16	5
5	62	1.7	135	19.105	5
6	64	1.6	140	19.045	5
7	66	1.5	140	18.96	5
8	68	1.5	140	18.91	5
9	70	1.1	140	18.84	1.0
10	71	0.9	139	18.73	1.5
11	72	0.9	139	18.64	1.5
12	73	1	139	18.61	0.5
13	74	1.2	139	18.56	0.8
14	75	1.1	139	18.53	0.5
15	76	1.1	139	18.50	0.5
16	77	1.1	139	18.48	0.4
17	78	1.1	138	18.45	0.5
18	79	1	138	18.42	0.5
19	80	1	138	18.38	0.5
20	81	1	137	18.35	0.5
21	82	1	137	18.31	0.5
22	83	1	136	18.28	0.5
23	84	0.8	136	18.25	0.4

Fuente: Datos de campo

Con los registros de presión de los 23 datos y la temperatura del agua de alimentación se procedió a determinar la entalpia del vapor saturado y entalpia del agua a la entrada de la caldera, para el dato 1 de 1.0 bar absoluto, se tiene:

$$h_g = 2706.5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_i = 105.02 \text{ kJ/kg}$$

Con el consume de GLP y el intervalo de tiempo correspondiente se determina el consume de GLP y el Flujo de vapor producido en cada dato, para el dato 1 de 1.0 bar absoluto, se tiene:

$$\dot{m}_{GLP} = 1.50 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{VAPOR} = 20.0 \text{ kg/h}$$

Sabiendo que el Poder Calorífico Inferior del GLP es 11 739 kCal/kg, reemplazando en la ecuación 4, para el rendimiento térmico, tenemos:

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_g - h_i)}{\dot{m}_c * \square ci} * 100$$

$$\eta = \frac{20.0 \frac{kg}{h} * (2706.5 - 105.02) \frac{kJ}{kg}}{1.50 \frac{kg}{h} * 11739 \frac{kcal}{kg} * 4.186 \frac{kJ}{kcal}} * 100$$

$$\eta = 70.6\%$$

Entonces para el dato registrado N°1, se tiene un rendimiento de caldera de 70.6%.

Análogamente procedemos para cada dato y entonces tenemos los rendimientos para cada medida, este cálculo se encuentra en la tabla 07 donde se muestra el comportamiento del rendimiento, gráficamente se puede observar.

Figura 31: Comportamiento del Rendimiento en la evaluación

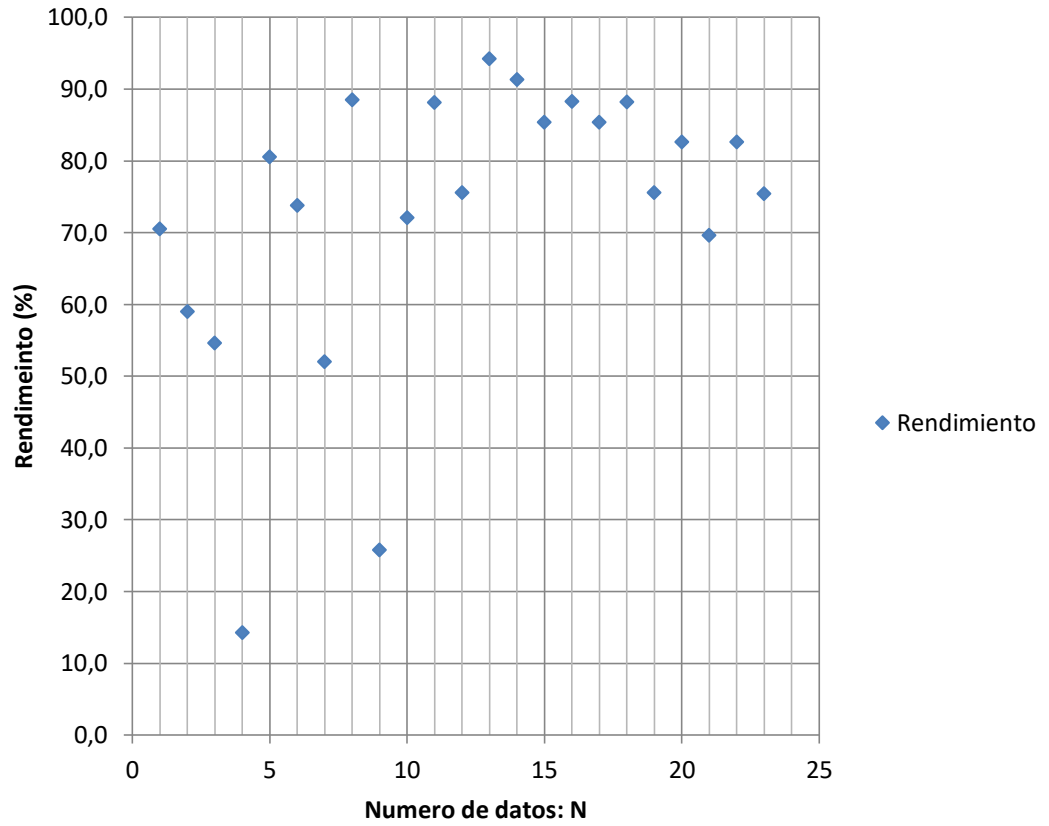


Tabla 07: Calculo de Entalpias, consumos de GLP y agua, Rendimiento.

Presión (barg)	Entalpia vapor saturado (kJ/kg)	Entalpia entrada de agua (kJ/kg)	Consumo de gas (kg/h)	Flujo de vapor (kg/h)	Rendimiento (%)
1	2706.5	105.02	1.500	20.0	70.6
1.5	2716.7	105.07	1.800	20.0	59.1
2	2725.1	105.11	1.950	20.0	54.7
2	2725.1	105.11	9.30	25.0	14.3
1.7	2720.3	105.09	1.65	25.0	80.6
1.6	2718.5	105.08	1.80	25.0	73.9
1.5	2716.7	105.07	2.55	25.0	52.1
1.5	2716.7	105.07	1.50	25.0	88.6
1.1	2708.8	105.03	12.30	60.0	25.8
0.9	2704.2	105.01	6.60	90.0	72.1
0.9	2704.2	105.01	5.40	90.0	88.2
1	2706.5	105.02	2.10	30.0	75.6
1.2	2710.9	105.03	2.70	48.0	94.3
1.1	2708.8	105.03	1.74	30.0	91.4
1.1	2708.8	105.03	1.86	30.0	85.5
1.1	2708.8	105.03	1.44	24.0	88.3
1.1	2708.8	105.03	1.86	30.0	85.5
1	2706.5	105.02	1.80	30.0	88.2
1	2706.5	105.02	2.10	30.0	75.6
1	2706.5	105.02	1.92	30.0	82.7
1	2706.5	105.02	2.28	30.0	69.7
1	2706.5	105.02	1.92	30.0	82.7
0.8	2701.8	105.00	1.68	24.0	75.5

Finalmente se obtiene el rendimiento experimental del caldero pirotubular al realizar un promedio de todos los cálculos, donde se obtiene: **72.8 %**.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Se determinó los parámetros de diseño de un caldero pirotubular de 6 BHP, cuyas condiciones nominales de operación son 6 bar de presión, 79.3 kg/h de producción de vapor y 2.42 kg/m<sup>3</sup> de consumo de combustible GLP para un 85% de rendimiento térmico del caldero.
- En el diseño se determinó los componentes del caldero pirotubular que consiste: 26 tubos de humo de DN 1" Sch 40 con una longitud de 0.90 m y con arreglo triangular, 1 tubo del hogar o cámara de combustión de DN 4" Sch 40 con longitud de 1.12 m (longitud efectiva de transferencia 0.90 m), 2 espejos laterales con 26 agujeros de DN 2" y 1 agujero de DN 4" y diámetros interno 0.4572 m, cuerpo de la caldera plancha de acero al carbono ASTM A-36 cuyas dimensiones son DI 457.2 mm y Longitud 1082.7 mm. Además se calculó el volumen de agua requerido para la caldera de 80.71 litros de agua.
- En el diseño se realizó un cálculo de combustión se determinó que en condiciones nominales de operación se requieren 95.3 kg de aire por hora y eso generara 100.4 kg de gases por hora. Para esta combustión completa con exceso de 20% de aire la máxima temperatura en condición adiabática será 1851.1 °C el cual es soportado por el quemador de GLP.
- Se realizó la construcción del caldero pirotubular, en un taller de estructuras metálicas, que cuenta con todos las máquinas y equipos requeridos (torno, fresa máquinas de soldar, esmeriladora, etc.) y realizo por personal especializado en el área. Al equipo terminado se realizaron las pruebas requeridas según norma ASME para la construcción de calderas las cuales se cumplieron con rigurosidad.
- Se realizó la evaluación preliminar de la presión de operación del caldero pirotubular la que alcanzó los 3 bar manométricos en aproximadamente 40 minutos a máxima llama (regulada en la entrada de GLP al quemador).
- En la evaluación con fines de cálculo del rendimiento térmico se controló el consumo de agua y combustible en intervalos de tiempos variados (5, 2 y 1 minuto) y manteniéndose la presión en tres niveles 2, 1.5 y 1 bar manométrico, con lo cual se consiguió cuantificar el rendimiento térmico mediante el método directo en 72.8%.

## RECOMENDACIONES

- El uso de los equipos auxiliares para calderas debe centrarse en la optimización y seguridad del funcionamiento de las mismas. La caldera tiene un indicador de nivel de agua, mas por motivos de presupuesto no se implementó el sistema de reposición automática de agua, para cuando los trabajos sean prolongados.
- Además una válvula de seguridad para cuando los niveles de presión aumenten por encima de la presión de operación o diseño. Estos dos puntos son importantes por cuanto es un equipo de laboratorio y será manipulado por alumnos de la escuela.
- Es importante para la prolongación de la vida útil de los tubos y cuerpo interno de la caldera que el agua de alimentación sea tratada (para disminuir la corrosión y formación de sarros), tal como lo indica la teoría y la experiencia, en tal sentido un sistema auxiliar de tratamiento de agua sería recomendable.
- Para aquellas superficies metálicas que vayan estar en contacto con el ambiente, y de vez en cuando con agua se puede pintar con pinturas anticorrosivas liquidas, y las superficies metálicas en contacto permanente con el agua con pinturas en polvo horneables.
- La selección de los tornillos para los flanges o bridas es un paso muy importante para garantizar que al apretar los tornillos, las bridas no se pandeen, y para que la presión se distribuya uniformemente sobre todos los tornillos, considerando que estarán sometidos a presión y altas temperaturas.
- Para trabajos futuros se debe pensar en mejorar la eficiencia de la caldera, usando hogares o cámaras de combustión cerrados, ya que con estos se puede garantizar que el calor de radiación puede ser aprovechado para calentar los tubos de humo.
- El trabajo del caldero pirotubular debe estar supeditado a la observación y cumplimiento de las normas de funcionamiento y seguridad, por ello se recomienda contar con sus respectivos manuales de operación y mantenimiento.

# **BIBLIOGRAFÍA**



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

1. Incropera, F. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Pearson Education.
2. Moran, M. & Shapiro, H. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica. Usa: Editorial Reverté.
3. Cengel, Y. & Ghajar, A. (2011). Transferencia de Calor y Masa. Mexico: McGraw-Hill.
4. Holman, J. (1999). Transferencia de Calor. México: Compañía Editorial Continental.
5. PULL, E. (1997). Calderas de vapor. Selección, funcionamiento y conservación de la caldera de vapor y de su equipo auxiliar. España: Editorial Gustavo Gili.
6. Bahr, H. & Herre, O. (1991). Calderas Máquinas de Vapor. México: Editorial Labor.
7. Kohan, A. (2000). Manual de Calderas. España: McGraw-Hill.
8. Suasnabar Dávila, M. (2014). Diseño de caldera domestica para quemar bosta. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Perú, Lima.
9. Hernández González, J. (2011). Diseño y evaluación de un generador de vapor de baja potencia. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, México.
10. Punina Guerrero, D. & Arcos Robayo, 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, Ecuador.
11. Iguarán Duarte, O. & Martínez Barrios, D. (2008). Diseño y construcción de una mini caldera pirotubular para el laboratorio de transferencia de calor. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanda, Ecuador.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Indecopi. Calderas industriales. Procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales. (2002). Perú.

*[https://books.google.com.pe/books/about/Calderas\\_industriales\\_Procedimiento\\_para.html?id=sOOOrgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Calderas_industriales_Procedimiento_para.html?id=sOOOrgEACAAJ&redir_esc=y)*

*[Procedimiento\\_para.html?id=sOOOrgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Calderas_industriales_Procedimiento_para.html?id=sOOOrgEACAAJ&redir_esc=y)*

*Fecha: 20/02/17*

2. Guía técnica de Calderas a Vapor Accesorios. (2010). Spirax Sarco Perú.

*<http://www.spiraxsarco.com/>*

*Fecha: 20/02/17*

3. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Guía básica de calderas industriales eficientes. (2012). Madrid, España.

*[https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-](https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf)*

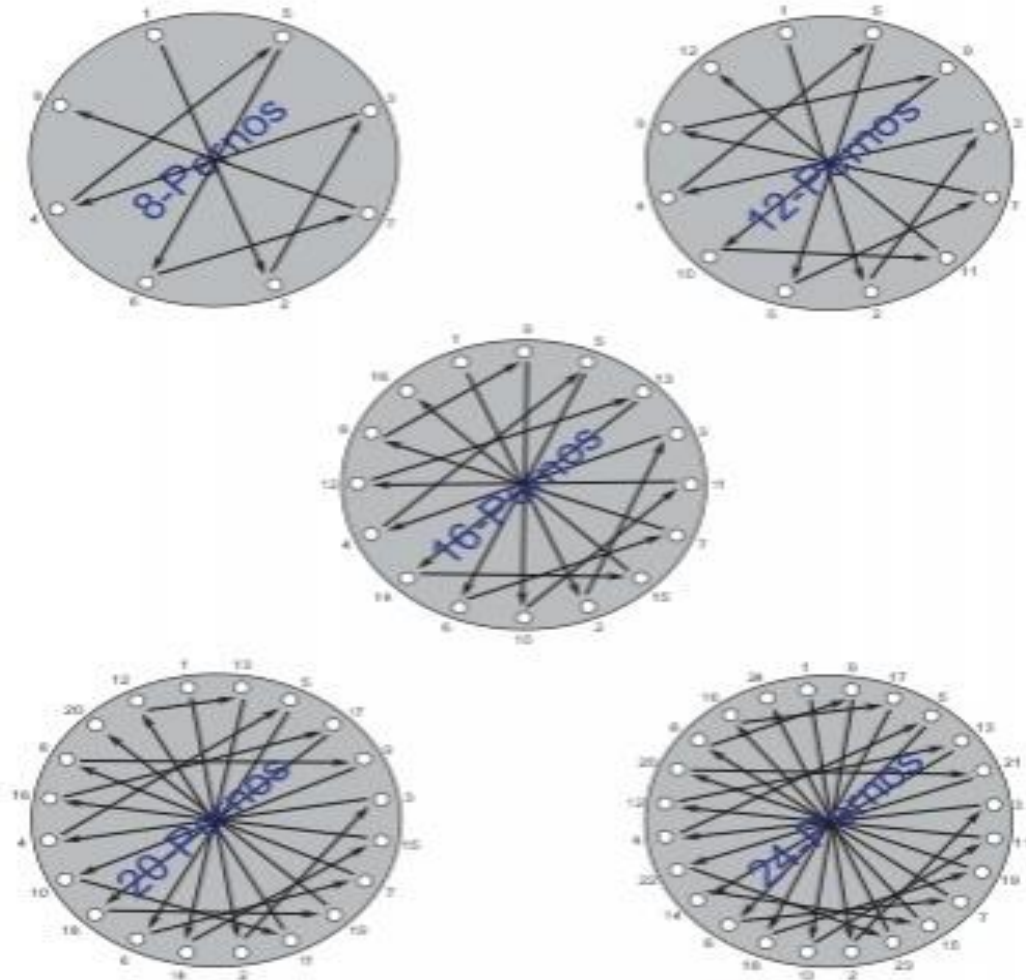
*[calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf](https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf)*

*Fecha: 20/02/17*

# **ANEXOS**

# ANEXO 1. Secuencia de Aplicación de Torque para los pernos del Caldero Piro-tubular

## Secuencia de Aplicación de Torque Para los Pernos



Criterios de Diseño

*Flexitallic*

47

<http://www.enerpac.com/en-us>

## ANEXO 2. Tabla de Torque para los pernos del Caldero Piro-tubular



**INDUSPER LTDA.**

Fabrica y comercializadora de pernos, tuercas y similares

Rut : 77.060.580-6

Antillanca Sur N° 581 Parque Ind.Vespucio Lo Echevers

Fono: 443 77 47 Fax: 443 77 50



Tabla de Torque Pernos Aceros Aleados

DIÁMETRO NOMINAL	Sección Resistente mm <sup>2</sup>	CARGA EN EL LIMITE ELÁSTICO 0.2%(Kg.)				FUERZA DEPRETENSADO (Kg.) (75%de carga en limite elástico)				TORQUE DE APRIETE (Kg.m)†			
		B7M L7M	A.325 Gr. 5	B7 B 16 L7	A.430 Gr. 8	B7M L7M	A.325 Gr. 5	B7 B 16 L7	A.430 Gr. 8	B7M L7M	A.325 Gr. 5	B7 B 16 L7	A.430 Gr. 8
1/2" 13 UNC	91,5	5120	5920	6720	8370	3940	4440	5040	6280	8	10	11	14
9/16" 12 UNC	117	6660	7570	8590	10710	4910	5600	6440	8030	12	14	16	20
5/8" 11 UNC	146	8180	9540	10720	13390	6130	7090	8040	10000	17	19	22	27
3/4" 10 UNC	215	12040	13910	15780	19670	9030	10320	11840	14790	29	34	38	48
7/8" 9 UNC	190	16700	19200	21900	27300	12520	14400	16400	20400	47	55	62	77
1" 8 UNC	391	21900	25300	28700	35800	16420	18770	21520	26800	71	82	93	120
1 1/8" 8 UN	510	28660	29100	37400	46700	21420	21800	28100	35000	98	100	130	160
1 1/4" 8 UN	645	36120	36800	47300	59000	27100	27600	35600	44000	140	140	180	230
1 3/8" 8 UN	795	46200	46300	58400	72700	33400	34000	43800	54800	190	190	240	300
1 1/2" 8 UN	962	53870	54830	70600	88000	40400	41100	53000	66000	250	250	320	400
1 5/8" 8 UN	1145	64120	65270	84000	104800	48090	48900	63000	78800	320	320	420	520
1 3/4" 8 UN	1343	75210	76600	98600	122500	56400	57400	73900	92200	400	450	530	660
1 7/8" 8 UN	1557	87190	88700	114300	142500	65400	66800	85700	106800	500	510	660	810
2" 8 UN	1788	100130	101200	131200	163600	75100	76400	98400	122700	600	620	800	1000

Pernos Hex. Bajo Carbono, Medio Carbono y Acero Aleados

Grado de Dureza	SAE 2	SAE 5	SAE 7	SAE 8
Marcas	Sin Marcas	3 líneas	5 líneas	6 líneas
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono templado	Acero al carbono templado
Capacidad de extensión Mínima	74 libras por pulgada	120 libras por pulgada	133 libras por pulgada	150 libras por pulgada

### Apriete de Pernos

Diámetro Pulgadas	Grado	2	2	5	5	7	7	8	8
Hilos por pulgada	SECO	con Aceite	SECO	con Aceite	SECO	con Aceite	SECO	con Aceite	SECO
1/4"	20	4	3	8	6	10	8	12	9
1/4"	28	6	4	10	7	12	9	14	10
5/16"	18	9	7	17	13	21	16	25	18
5/16"	24	12	9	19	14	24	18	29	20
3/8"	16	16	12	30	23	40	30	45	35
3/8"	24	22	16	35	25	45	35	50	40
7/16"	14	24	17	50	35	60	45	70	55
7/16"	20	34	26	55	40	70	50	80	60
1/2"	13	38	31	75	55	95	70	110	80
1/2"	20	52	42	90	65	100	80	120	90
9/16"	12	52	42	110	80	135	100	150	110
9/16"	18	71	57	120	90	150	110	170	130
5/8"	11	98	78	150	110	140	140	220	170
5/8"	18	115	93	180	130	210	160	240	180
3/4"	10	157	121	260	200	320	240	380	280
3/4"	16	1	133	300	220	360	280	420	320
7/8"	9	210	160	430	320	520	400	600	460
7/8"	14	230	177	470	360	580	440	660	500
1"	8	320	240	640	480	800	600	900	680
1"	12	350	265	710	530	860	666	990	740

### Torque

Apriete que se debe y la condición de lubricación.

Tipo de Perno	Variación del Torque
Corriente Lubricado con Aceite	Reducir 15 a 25%
Corriente con Teflon o Grasa	Reducir 50%

### **ANEXO 3.** Programa de Mantenimiento preventivo en calderas

La implantación de un mantenimiento preventivo es de carácter y actuación continua, y debe estar destinado a:

- Optimizar los procesos productivos y la producción.
- Reducir los costos directos e indirectos ocasionados por fallas o paradas.
- Conseguir la máxima vida útil de la caldera y los equipos asociados a ella.

Todo ello alcanzando un equilibrio económico respecto a los costos que se imputen al mantenimiento preventivo, que en ningún caso deberán exceder a los derivados de su falta. Estas operaciones varían en función del tipo de instalación, aunque, en general, se puede decir que consisten en:

- Operaciones diarias.
- Operaciones semanales.
- Operaciones mensuales.
- Operaciones semestrales.
- Operaciones anuales.

#### **a) Operaciones diarias**

Las operaciones diarias son las siguientes:

- Vigilancia del equipo de tratamiento del agua de alimentación y dosificación de aditivos, reponiendo los reactivos en cantidad suficiente para disponer de una autonomía adecuada.
- Vigilancia de la temperatura de los gases.
- Vigilancia de temperatura de ida y retorno en calderas de agua caliente.
- En calderas de producción de vapor:
  - ✓ Si hay retorno de condensados, comprobar que estos últimos llegan a la sala de calderas libres de contaminación.

- ✓ Comprobar el correcto funcionamiento de los indicadores de nivel ópticos.
- ✓ Efectuar las purgas de los indicadores ópticos de nivel, lodos, botellines de nivel, si los hubiese, y del colector de instrumentación donde van alojados los presostatos y manómetro.
- ✓ Vigilancia de la temperatura de aportación de agua.

#### **b) Operaciones semanales**

Las operaciones semanales son las siguientes:

Tomar y analizar las muestras del agua contenida en el interior de la caldera:

- ✓ Salinidad.
- ✓ Dureza
- ✓ pH.
- ✓ Contenido O<sub>2</sub>
- ✓ Aspecto (incolore, claro, sin sustancias no disueltas o turbio).

Como consecuencia de la analítica se ajustaran adecuadamente la temporización de purgas, la cantidad de aditivos a suministrar o corregir, etc.

- Comprobar el correcto funcionamiento de automatismos involucrados en la cadena de seguridades del conjunto caldera – quemador.
- Limpiar los filtros, fotocélula y electrodos de encendido del quemador en caso de utilizar combustibles líquidos.
- Proceder al cierre y apertura de todas las válvulas manuales que están asociadas a la caldera, comprobando que funcionan correctamente.
- Comprobar el correcto funcionamiento de termómetros, termostatos, manómetros y presostatos.
- Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección que dan acceso al interior de la caldera.

### **c) Operaciones mensuales**

Las operaciones mensuales son las siguientes:

- Pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.
  - ✓ Elementos de mando combinación aire – combustible.
  - ✓ Dispositivos de cierre de combustible.
  - ✓ Indicador de presión de combustibles.
  - ✓ Dispositivo de cierre de seguridad del combustible.
  - ✓ Equipo de control de estanqueidad en caso de utilizar gas.
  - ✓ Sistema de control de llama.
- Prueba de funcionamiento del paro con el interruptor de emergencia.
- Prueba de buen funcionamiento de bombas de circulación o alimentación de agua.
- Verificar el buen funcionamiento de elementos del cuadro eléctrico de maniobra y control: automatismos y seguridad.
- Análisis de gases y ajustes de la combustión, si es necesario.

### **d) Operaciones semestrales**

Las operaciones semestrales son las siguientes:

- En caso de utilizar combustibles líquidos, proceder a la limpieza de tubos de humos, eliminando los hollines.
- Comprobar el estado de las partes que tienen refractario, como la boca de acoplamiento del quemador, tapón de registro y acceso al hogar, etc.

### **e) Operaciones anuales**

Las operaciones anuales son las siguientes:

- Inspección en frío, caldera parada, procedimiento a la apertura de todos los registros en el lado agua y gases.



- Proceder a la limpieza del lado de agua eliminando incrustaciones y sedimentos. Prestar especial atención a los lugares donde se ubican la detección de nivel en calderas de vapor.
- Inspeccionar el estado de la caldera respecto a la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua que se ha aplicado es correcto o mejorable.
- En el lado de gases, proceder también a una limpieza exhaustiva, eliminando hollines.
- Comprobar el estado de los elementos de seguridad que actúan sobre la presión, temperatura y nivel. Sustituirlos en caso necesario.
- Comprobar el estado de las uniones soldadas entre tubos de humo y hogar con las placas delantera y trasera.
- Realizar una medición de espesores por ultrasonidos en las partes que conforman el cuerpo a presión de la caldera.
- Proceder a la sustitución de juntas de los registros o elementos desmontados, limpiando o rectificando los asientos en caso de ser necesario.
- Una vez realizadas las operaciones anteriores, proceder a un prueba de presión en frío.
- Posteriormente, realizar una prueba de funcionamiento con quemador en marcha, forzando el disparo y actuación de los equipos de seguridad.
- Complementar el libro de registro de usuario, anotando todas las actuaciones realizadas, las anomalías o buen funcionamiento observados y las medidas correctoras que se han aplicado, si han sido necesarias.

#### **ANEXO 4.** Pruebas de confiabilidad y seguridad en Calderas

Antes de las pruebas, se debe seguir un programa planeado y discutido en el cual participen todos los actores – operadores responsables por el proceso de arrancada. Se deben dar a conocer los diferentes cambios y reparaciones realizadas entre los operadores y deben aproximarse en sus resultados, con lo que se planeó cambiar. Es importante en esto actualizar los cambios en los procedimientos y estos a su vez ser modificados, si se requiere, para su actualización y posterior discusión con los operarios responsables de la operación.

Las pruebas que se sugiere realizar en una caldera son:

**a) Prueba hidrostática:** La prueba hidrostática es análoga a la revisión que se hace a un neumático inflándolo para detectar poros o fugas de aire. En la caldera esta prueba se realiza con agua a una determinada presión específica. La prueba de presión a que se debe someter la vasija entera, asegura que las tuberías, tambor de vapor, tambor de lodos y en general todo el equipo que va a manejar vapor y agua, estén en condiciones seguras de operación en caliente. La temperatura del agua de la prueba debe estar a la temperatura de ambiente.

Una caldera recién instalada o que ha estado fuera de servicio durante algún tiempo, o que ha sido sometida a una reparación después de un periodo de servicio, debe ser probado a presión hidráulica o presión hidrostática, para verificar su hermeticidad en el lado agua – vapor y su capacidad de soporte de presión. El procedimiento utilizado para esta prueba es el recomendado en el código de la **ASME – American Society of Mechanical Engineers**. La resistencia de las partes de la caldera que normalmente operan a presión, se prueba para localizar las fallas que pudieran presentarse durante la operación normal por algún debilitamiento de su tubería o accesorios.

Las partes bajo prueba son: el tambor de vapor y el de lodos, paredes de agua y sus colectores, tubos evaporadores y tubos bajantes, cabezales o colectores del sobrecalentador y sus tubos.

Antes de iniciar la prueba en una unidad nueva o que ha sido inspeccionada, se debe realizar un chequeo para verificar que:

- Se han retirado todos los materiales que no se requieran para la prueba.
- Todas las válvulas de seguridad y las partes que no deben ser sometidas a la presión de prueba, deben quedar debidamente aisladas para evitar daños.
- Se recomienda tener en cuenta los rangos de los indicadores de presión PI, que van a ser utilizados para medir esta presión, los demás deben retirarse o bloquearse para evitar su daño por sobrepresión.

**b) Prueba de humo:** Esta prueba busca determinar las fugas de gases de la combustión de la caldera a través de las paredes, soldaduras, en láminas y ductos en general, por la presencia de humo, verificando y reparando los escapes de gases o filtración de aire según la zona afectada. Esta prueba se realiza normalmente después de una reparación.

Debido a que las calderas llevan revestimiento exterior de lana de vidrio y lamina externa de zinc corrugada de protección, éstas deben ser retiradas para poder facilitar la inspección y localización de las fugas durante la prueba y posterior reparación de los escapes. Por lo anterior la prueba debe hacerse antes de colocar los revestimientos exteriores de las paredes de la caldera.

### **Procedimiento**

- Verifique que estén instaladas correctamente todas las tapas de las bocas de acceso en cajas y ductos de aire, de gases y el horno. Tome precauciones antes de ingresar al horno, debe hacerse

obligatoriamente la prueba de gases tóxicos y combustibles, previamente al ingreso del personal al horno y partes internas.

- Instale un tabique en la chimenea para impedir la salida del humo de la prueba y permitir hacer una ligera presión en el interior de la caldera.
- Prenda fuego a las estopas junto al combustible y salga del hogar.
- Instale el quemador por donde se introdujeron las canecas, provisionalmente.
- Realice una detallada inspección buscando escapes de humo por soldaduras, paredes, ductos, techos, áticos, calentadores de aire, etc.
- Si localiza fallas, márquelas para su posterior reparación.
- Finalizada la inspección, apague los fuegos y deje operando el ventilador y si la prueba fue satisfactoria se debe retirar el tabique de la chimenea.

**c) Prueba de bridas:** Verifica la hermeticidad de la caldera en los puntos de conexión. Se denomina de bridas porque es principalmente en esas partes donde se verifica la hermeticidad, es decir en los puntos de conexión, que por lo general se dejan libres durante la reparación. Además, la prueba también cheque los puntos donde se conectan los diferentes instrumentos, los dispositivos de alarma, de corte, las válvulas de control y otros equipos como válvulas de compuerta, las cuales se revisan en sus empaquetaduras para verificar que estén sellando perfectamente y que no se observen ni fugas ni goteos de agua hacia el exterior.

**d) Prueba del sistema de combustión:** Por lo general los instrumentos se revisan y calibran en el taller de la empresa o en el taller del contratista. Generalmente, estas pruebas se deben realizar cuando la caldera está en el proceso de arrancada, por la necesidad de que haya fluido para controlar o monitorear. Se revisa la operación del sistema de control de combustibles y aire. El manejo de los combustibles, controlado por el sistema de

control de combustión, posee controles diseñados para operar en forma automática y con una logística que asegura el manejo de combustible, en condiciones de incremento o decrecimiento de carga de generación de vapor, también se revisa la operación manual del control o cascada.

### Pruebas de confiabilidad y seguridad en Calderas



Vista de la Construcción de las entradas del cuerpo del caldero pirotubular



Vista de la Construcción de los espejos del cuerpo del caldero pirotubular



Preparación de los materiales para la caldera y rolado de la plancha del cuerpo principal.



Instalación de los instrumentos del caldero pirotubular para pruebas preliminares.



Prueba y toma de datos del caldero pirotubular de 6 BHP

## ANEXO 5. Catálogo de tubos astm



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	--	160			2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-			2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	--	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	--	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	--	-	6.65	9.92	1950	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	--	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	--	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
4	100	4.500	114.3	0.125	3.18	*	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	*	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	*	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	*	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	*	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	*	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	*	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	*	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	*	160	22.51	33.54	2800	197	2800	197
0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197				
5	125	5.563	141.3	0.188	4.78	*	-	10.79	16.09	1220	86	1420	100
				0.219	5.56	*	-	12.50	18.61	1420	100	1650	116
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	1670	117	1950	137
				0.281	7.14	*	-	15.85	23.62	1820	128	2120	149
				0.312	7.92	*	-	17.50	26.05	2020	142	2360	166
				0.344	8.74	*	-	19.17	28.57	2230	157	2600	183
0.375	9.52	XS	80	20.78	30.94	2430	171	2800	197				
6	150	6.625	168.3	0.188	4.78	*	-	12.92	19.27	1020	72	1190	84
				0.219	5.56	*	-	14.98	22.31	1190	84	1390	98
				0.250	6.35	*	-	17.02	25.36	1360	96	1580	111
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	1520	107	1780	125
				0.312	7.92	--	-	21.04	31.32	1700	120	1980	139
				0.344	8.74	*	-	23.08	34.39	1870	131	2180	153
				0.375	9.52	*	-	25.02	37.28	2040	143	2380	167
				0.432	10.97	XS	80	28.57	42.56	2350	165	2740	193
				0.562	14.27	*	120	36.39	54.20	2800	197	2800	197
				0.719	18.26	*	160	45.35	67.56	2800	197	2800	197
				0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22	2800	197	2800	197





TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Palgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Palgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
8	200	8.625	219,1	0.188	4.78	*	-	16.94	25.26	780	55	920	65
				0.203	5.16	*	-	18.26	27.22	850	60	1000	70
				0.219	5.56	*	-	19.66	29.28	910	64	1070	75
				0.250	6.35	*	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86
				0.277	7.04	*	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95
				0.312	7.92	*	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110
				0.344	8.74	*	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118
				0.375	9.52	*	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129
				0.406	10.31	*	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141
				0.438	11.13	*	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171
				0.594	15.09	*	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197
				0.719	18.26	*	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197
				0.812	20.62	*	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197
0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197				
0.906	23.01	*	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
10	250	10.750	273,0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197
12	300	12.750	323,8	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	570	40	670	47
				0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	620	44	720	51
				0.250	6.35	-	20	33.38	49.71	710	50	820	58
				0.281	7.14	-	-	37.42	55.75	790	56	930	65
				0.312	7.92	-	-	41.45	61.69	880	62	1030	72
				0.330	8.38	-	30	43.77	65.18	930	65	1090	77
				0.344	8.74	-	-	45.58	67.90	970	68	1130	79
				0.375	9.52	STD	-	49.52	73.78	1060	75	1240	87
				0.406	10.31	-	40	53.52	79.70	1150	81	1340	94
				0.438	11.13	-	-	57.59	85.82	1240	87	1440	101
				0.500	12.70	XS	-	65.42	97.43	1410	99	1650	116
				0.562	14.27	-	60	73.15	108.92	1590	112	1850	130
				0.688	17.28	-	80	88.63	132.04	1940	136	2270	160
				0.844	21.44	-	100	107.32	159.86	2390	168	2780	195
				1.000	25.40	XXS	120	125.49	186.91	2800	197	2800	197
1.125	28.57	-	140	139.68	208.00	2800	197	2800	197				
1.312	33.32	-	160	160.27	238.68	2800	197	2800	197				



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm <sup>2</sup>	psi	Kg/cm <sup>2</sup>
14	350	14.000	355,6	0.250	6.35	-	10	36,71	54,69	640	45	750	53
				0.281	7.14	-	-	41.17	61.35	720	51	840	59
				0.312	7.92	-	20	45.61	67.90	800	56	940	66
				0.344	8.74	-	-	50.17	74.76	880	62	1030	72
				0.375	9.52	STD	30	54.57	81.25	960	67	1120	79
				0.438	11.13	-	40	63.44	94.55	1130	79	1310	92
				0.469	11.91	-	-	67.78	100.94	1210	85	1410	99
				0.500	12.70	XS	-	72.09	107.39	1290	91	1500	105
16	400	16.000	406,4	0.250	6.35	-	10	42.05	62.64	560	39	660	46
				0.281	7.14	-	-	47.17	70.30	630	44	740	52
				0.312	7.92	-	20	52.27	77.83	700	49	820	58
				0.344	8.74	-	-	57.52	85.71	770	54	900	63
				0.375	9.52	STD	30	62.58	93.17	840	59	980	69
				0.438	11.13	-	-	72.80	108.49	990	70	1150	81
				0.469	11.91	-	-	77.79	115.86	1060	75	1230	86
				0.500	12.70	XS	40	82.77	123.30	1120	79	1310	92
18	450	18.000	457,2	0.250	6.35	-	10	47.39	70.60	500	35	580	41
				0.281	7.14	-	-	53.18	79.24	560	39	660	46
				0.312	7.92	-	20	58.94	87.75	620	44	730	51
				0.344	8.74	-	-	64.87	96.66	690	49	800	56
				0.375	9.52	STD	-	70.59	105.10	750	53	880	62
				0.406	10.31	-	-	76.29	113.62	810	57	950	67
				0.438	11.13	-	30	82.15	122.43	880	62	1020	72
				0.469	11.91	-	-	87.81	130.78	940	66	1090	77
0.500	12.70	XS	-	93.45	139.20	1000	70	1170	82				
20	500	20.000	508,0	0.250	6.35	-	10	52.73	78.55	450	32	520	37
				0.281	7.14	-	-	59.18	88.19	510	36	590	41
				0.312	7.92	-	-	65.60	97.67	560	39	660	46
				0.344	8.74	-	-	72.21	107.60	620	44	720	51
				0.375	9.52	STD	20	78.60	117.02	680	48	790	56
				0.406	10.31	-	-	84.96	126.53	730	51	850	60
				0.438	11.13	-	-	91.51	136.37	790	56	920	65
				0.469	11.91	-	-	97.83	145.70	850	60	950	67
0.500	12.70	XS	30	104.13	155.12	900	63	1050	74				
24	600	24.000	609,6	0.250	6.35	-	10	63.41	94.46	380	27	440	31
				0.281	7.14	-	-	71.18	106.08	420	30	490	34
				0.312	7.92	-	-	78.93	117.51	470	33	550	39
				0.344	8.74	-	-	86.91	129.50	520	37	600	42
				0.375	9.52	STD	20	94.62	140.88	560	39	660	46
				0.406	10.31	-	-	102.31	152.37	610	43	710	50
				0.438	11.13	-	-	110.22	164.26	660	46	770	54
				0.469	11.91	-	-	117.86	175.54	700	49	820	58
0.500	12.70	XS	-	125.49	186.94	750	53	880	62				
0.562	14.27	-	30	140.68	209.50	840	59	980	69				

Tolerancias dimensionales:

Espesor: ±12,5% de espesor nominal en cualquier punto del tubo.

Peso: ±10% del paquete de tubos con diámetro menor o igual a 4" (114,3mm) o tubos individuales con diámetro nominal mayor a 4" (114,3mm)

Diámetro externo: Para diámetro menores o iguales a 1-1/2" (48,3mm) +0,016 pulg (+0,40mm)

Para diámetro mayores o iguales a 2" (60,3mm): ± 1%



## TUBERIA DE ACERO AL CARBONO API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

### Normas de Fabricación ASTM A53

Los tubos para conducción de fluidos tales como agua, vapor, gas y aire a altas presiones, son fabricados bajo la norma **ASTM A 53**. Estos tubos son aptos para operaciones que involucran doblado, rebordeado y cualquier otra formación en frío.

Para validar las exigencias de las normas de fabricación el fabricante realiza ensayos y verificación en los tubos procesados en sus instalaciones. En el caso de conducción de fluidos se realizan ensayos dependiendo de la designación comercial del tubo.

Para Designaciones Comerciales Mayores a 50 DNH (1) (2 *NPS*(2)): ensayo de aplastamiento, ensayo de tracción para determinar propiedades mecánicas, análisis químico, ensayo de ultrasonido al cordón de soldadura, verificación dimensional del tubo, ensayo gravimétrico, ensayo metalográfico, prueba hidrostática, ensayo no destructivo e inspección visual.

Para Designaciones Comerciales Menores o Iguales a 50 DN (2 *NPS*): ensayo de expansión, ensayo de doblado, ensayo de tracción para determinar propiedades mecánicas, análisis químico, verificación dimensional del tubo, prueba hidrostática, ensayo gravimétrico, ensayo metalográfico, ensayo no destructivo e inspección visual.

### Condiciones de Extremos

Biselados o Refrentados.

Roscados (según norma ANSI B1.20.1).

### Acabados

Negro (acabado de laminación o con protección de aceite inhibidor de la oxidación).

Galvanizado (recubiertos de Zinc).

Barnizado (película protectora para conservación de los tubos en traslados bajo condiciones especiales o por requerimientos del cliente).

El galvanizado del tubo en su superficie interna y externa se realiza a través de un proceso de inmersión en caliente ("Hot-Dip")

(1) DN: Designación comercial del producto en milímetros.

(2) NPS: Designación comercial del producto en pulgadas.



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

### Propiedades Mecánicas

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción			
				Mínimo		Máximo	
		Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	205	30,000	330	48,000	--	--
	B	240	35,000	415	60,000	--	--

### Requerimientos Químicos

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Porcentaje Máximo de los Elementos			
		C	Mn	P	S
		Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	0,25	0,95	0,05	0,045
	B	0,30	1,20	0,05	0,045

**ANEXO 6.** Catálogo de Productos Multiaceros



# Catálogo de Productos

**MultiAceros** FUERTE EN SERVICIO

# MultiAceros FUERTE EN SERVICIO



## Fuerte en Servicio

MultiAceros es una empresa joven, dinámica, flexible y sobre todo, totalmente comprometida con sus clientes.

Somos una empresa importadora y comercializadora de productos de acero que entrega soluciones de calidad en las áreas de conducción de fluidos, canalización eléctrica, sistemas estructurales y metalmeccánica en general.

Nuestra cultura de servicio ha sido la guía de nuestro accionar. Sabemos la importancia de ser reconocidos como proveedor confiable, que responde con una atención personalizada, ágil y con gran capacidad para entregar a tiempo productos de óptima calidad.

Para mantener un stock óptimo nos proveemos de las mejores fábricas del mundo, las cuales mantienen una producción bajo estándares de calidad ISO 9001 y 14001.

Nos caracterizamos por ser una empresa orientada a satisfacer las necesidades de nuestros clientes, actuando de forma ágil y generando valor para crecer junto con nuestros colaboradores.



## Políticas de Calidad

Nuestra política de calidad es ser un proveedor de excelencia de productos y servicios de valor agregado a las cañerías de acero, planchas de acero y sus complementos, cumpliendo los requerimientos de calidad acordados con nuestros clientes, asegurando un servicio óptimo, de manera de satisfacer sus necesidades y expectativas.

Para ello, mantenemos una organización eficaz y un nivel de entrenamiento de nuestro recurso humano que asegure el cumplimiento de los estándares de calidad y el mejoramiento continuo del sistema de gestión de calidad.

Contamos con amplias bodegas dispuestas en más de 150.000 m<sup>2</sup>, que nos permite almacenar más de 30.000 toneladas de productos terminados, listos para entregar.

• [www.multiaceros.cl](http://www.multiaceros.cl)



**MultiAceros** FUERTE EN SERVICIO  
MULTIACEROS

### **Norma ASTM** **A 53 GR B SCHEDULE 40/STD**

Cañerías para la conducción de fluidos fríos y presiones moderadas.

#### **Características Generales**

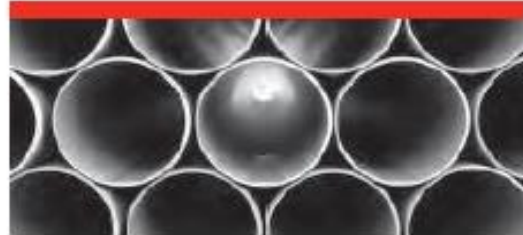
Diámetros: Desde 1/2" hasta 10"  
Espesores: STD y otros SCH  
Largo normal: Hasta 6 metros  
Otros Largos: Hasta 12 metros  
Superficie: Negra, galvanizada, pintada o revestida HDPE  
Roscado: Hilo NPT según norma ANSI B1.20.1. Opcional BSP  
Extremos: Biselados, roscados o ranurados vitaulic

#### **Pruebas según norma ASTM A-53**

Hidrostática: Al 100% de las cañerías  
Mecánicas: Aplastamiento y curvado  
Doblamiento: 90°, 180° de acuerdo con norma A-53  
Otras: Inspección electromagnética y ultrasonido

#### **Temperatura Garantizada de Trabajo**

Máxima: 350°  
Mínima: -10°



#### **Propiedades Mecánicas**

Resistencia a la tracción: Mínima 42,2 kg/mm<sup>2</sup>  
Elongación: Mínima 30%

#### **Tolerancias**

Espesor: - 12,5% del espesor nominal  
Peso: +/-10%  
Longitud: -10 mm, +25 mm

#### **Galvanización**

Se realiza por inmersión en caliente según norma ASTM A-53, garantizando un recubrimiento de zinc, tanto interior como exterior uniforme, con un peso promedio de capa de zinc no inferior a 0,55 kg/m<sup>2</sup>. La calidad del zinc para revestimiento se garantiza según norma ASTM B6 SHG (Super High Grade).

### **A 53 y API 5L** **Grandes Diámetros**

Contamos con el mayor stock de cañerías de grandes diámetros en plaza que permite una entrega efectiva para sus proyectos. También realizamos importaciones especiales a pedido.

#### **Características Generales**

Diámetros: Desde 8" hasta 36" stock permanente  
LSAW desde 26" hasta 42"  
Acero: API 5L desde Gr x 42 hasta x70  
Espesores: STD y otros SCH  
Largo normal: Hasta 6 metros  
Superficie: Negra, galvanizada, pintada o revestida HDPE

Cañerías para pilotes desde 8" hasta 48" en espesores desde 12,5 hasta 57 mm.



#### **Revestimiento interno**

- Caucho natural
- Epóxica
- Otros revestimientos

• [www.multiaceros.cl](http://www.multiaceros.cl)



**MultiAceros** FUERTE EN SERVICIO  
MultiAceros

### **Norma ASTM** **A 53 GR B SCHEDULE 40/STD**

Cañerías para la conducción de fluidos limpios y presiones moderadas.

#### **Características Generales**

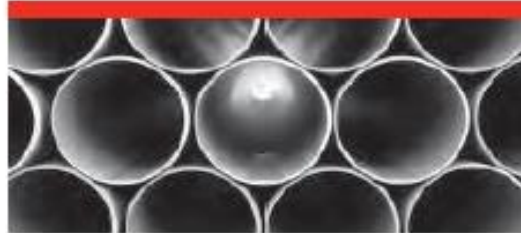
Diámetros: Desde 1/2" hasta 10"  
Espesores: STD y otros SCH  
Largo normal: Hasta 6 metros  
Otros Largos: Hasta 12 metros  
Superficie: Negra, galvanizada, pintada o revestida HDPE  
Roscado: Hilo NPT según norma ANSI B1.20.1. Opcional BSP  
Extremos: Biselados, roscados o ranurados vitáulic

#### **Pruebas según norma ASTM A-53**

Hidrostática: Al 100% de las cañerías  
Mecánicas: Aplastamiento y curvado  
Doblamiento: 90°, 180° de acuerdo con norma A-53  
Otras: Inspección electromagnética y ultrasonido

#### **Temperatura Garantizada de Trabajo**

Máxima: 350°  
Mínima: -10°



#### **Propiedades Mecánicas**

Resistencia a la tracción: Mínima 42,2 kg/mm<sup>2</sup>  
Elongación: Mínima 30%

#### **Tolerancias**

Espesor: - 12,5% del espesor nominal  
Peso: +/-10%  
Longitud: -10 mm, +25 mm

#### **Galvanización**

Se realiza por inmersión en caliente según norma ASTM A-53, garantizando un recubrimiento de zinc, tanto interior como exterior uniforme, con un peso promedio de capa de zinc no inferior a 0,55 kg/m<sup>2</sup>. La calidad del zinc para revestimiento se garantiza según norma ASTM B6 SHG (Super High Grade).

### **A 53 y API 5L** **Grandes Diámetros**

Contamos con el mayor stock de cañerías de grandes diámetros en plaza que permite una entrega efectiva para sus proyectos. También realizamos importaciones especiales a pedido.

#### **Características Generales**

Diámetros: Desde 8" hasta 36" stock permanente  
LSAW desde 26" hasta 42"  
Acero: API 5L desde Gr x 42 hasta x70  
Espesores: STD y otros SCH  
Largo normal: Hasta 6 metros  
Superficie: Negra, galvanizada, pintada o revestida HDPE

Cañerías para pilotes desde 8" hasta 48" en espesores desde 12,5 hasta 57 mm.



#### **Revestimiento interno**

- Caucho natural
- Epóxica
- Otros revestimientos

• [www.multiaceros.cl](http://www.multiaceros.cl)





### **Norma ASTM A 795/SCH 10**

Cañerías para la conducción de fluidos de baja presión, fines estructurales y redes contra incendios.

#### **Características Generales**

Dímetros: Desde 2" hasta 6"

Largo normal: 6 metros

Superficie: Negra, galvanizada y pintada

Extremos: Biselados o ranurados

#### **Pruebas**

Hidrostática: Al 100% de las cañerías

Aplastamiento: Mecánica y curvado



#### **Tolerancias**

Espesor: - 12,5% del espesor nominal

Peso: +/-5%

Longitud: -10 mm, +25 mm



### **Tubos Conduit**

Son conductos de acero galvanizado especialmente fabricados para instalaciones eléctricas industriales y comerciales, cuyo fin es contener y proteger cables eléctricos, telefónicos y fibra óptica, entre otros.

Comercializamos la más amplia variedad de tubos para instalaciones eléctricas del mercado.

El largo de los tubos es de 3 m, galvanizados, poseen hilo en sus extremos y una copia que permite la unión entre ellos.

#### **Características Generales**

Intermedio: Diámetros desde 1/2" hasta 2"

Rígido: Diámetros desde 1/2" hasta 6"

EMT: Desde 1/2" hasta 2 1/2"

#### **Tolerancias**

Espesor: +/-12,5% del espesor nominal

Longitud: -10 mm, +25 mm

Diámetro: +/- 0,127 mm



Tenemos accesorios disponibles como: Curvas, Copias, Terminales, Abrazaderas, Bushing y Contratuercas.



## **Planchas y Bobinas**

Para una gran cantidad de aplicaciones estructurales, partes y piezas para la industria y metalmeccánica en general, ofrecemos bobinas y planchas de acero.

Contamos con una moderna planta de alisado, corte y flejado. Todo esto nos permite dar respuestas específicas a sus necesidades.

### **Centro de Servicios de Acero**

- Alisado
- Corte Longitudinal y Transversal
- Rejado y Rebajo de Bobinas
- Doble Dimensionado
- Fabricación de piezas especiales, Spools, entre otros (servicios a pedido)



## **Amplio Stock de Planchas y Bobinas**

- Planchas y Bobinas Laminada en Caliente
- Planchas y Bobinas Laminada en Frío
- Plancha Gruesas L/C
- Planchas y Bobinas Galvanizadas
- Planchas y Bobinas Diamantadas





## Planchas Galvanizadas

Características Generales  
 Calidad: ASTM A-653 G 60 / G90  
 Ancho: 1.000 a 1.500 mm

Largos: 2.000 / 2.500 / 3.000 mm  
 Largos especiales: A pedido  
 Espesores: 0,35 a 2,50 mm

### Espesor Nominal

### Peso Nominal

(mm)	1.000 x 2.000 (kg)	1.000 x 2.500 (kg)	1.000 x 3.000 (kg)
0,35	5,48	6,85	8,22
0,40	6,28	7,85	9,42
0,50	7,60	9,50	11,40
0,60	8,96	11,20	13,44
0,80	12,38	15,48	18,57
1,00	15,88	19,85	23,82
1,20	18,54	23,18	27,81
1,50	23,66	29,58	35,49
1,90	30,40	38,00	45,60
2,50	40,00	50,00	60,00



## Planchas Gruesas L/C

### Características Generales

Calidad: ASTM A-36 / A-572 Gr 50 / A-515

Ancho: 2.000 / 2.440 / 3.000 mm

Largos: 6.000 y 12.000 mm

Largos especiales: A pedido

Espesores: Desde 6 hasta 100 mm

### Espesor Nominal

### Peso Nominal

Espesor Nominal (mm)	2.000 x 6.000 (kg)	2.000 x 12.000 (kg)	2.440 x 6.000 (kg)	2.440 x 12.000 (kg)
6	576	1.152	703	1.405
8	768	1.536	937	1.874
10	960	1.920	1.171	2.342
12	1.152	2.304	1.405	2.811
14	1.344	2.688	1.640	3.279
16	1.536	3.072	1.874	3.748
18	1.728	3.456	2.108	4.216
20	1.920	3.840	2.342	4.685
22	2.112	4.224	2.577	5.153
25	2.400	4.800	2.928	5.856
28	2.688	5.376	3.279	6.559
30	2.880	5.760	3.514	7.027
32	3.072	6.144	3.748	7.496
35	3.360	6.720	4.099	8.198
38	3.648	7.296	4.451	8.901
40	3.840	7.680	4.685	9.370
45	4.320	8.640	5.270	10.541
50	4.800	9.600	5.856	11.712
75	7.200	14.400	8.784	17.568
100	9.600	19.200	11.712	23.424



## Planchas Laminado en Caliente

### Características Generales

Calidad: ASTM A-36

Espesores: Desde 1,50 hasta 12 mm

Anchos: 1.000 mm a 1.500 mm

Largos: 2.000 / 2.500 / 3.000 / 6.000 / 12.000 mm

### Espesor Nominal

### Peso Nominal

(mm)	Peso Nominal		
	1.000 x 3.000 (kg)	1.000 x 6.000 (kg)	1.500 x 6.000 (kg)
1,5	36	72	108
2,0	48	96	144
2,5	60	120	180
3,0	72	144	216
4,0	96	192	288
5,0	120	240	360
6,0	144	288	432
8,0	192	384	576
10,0	240	480	720
12,0	288	576	864

## Planchas Laminado en Frío Norma SAE 1010 / SAE 1008

### Características Generales

Espesores: Desde 0,35 hasta 1,9 mm

Anchos: 1.000, 1.200 y 1.500 mm

Largos: STD 3.000 mm / Espesores a pedido

### Espesor Nominal

### Peso Nominal

Espesor Nominal (mm)	Peso Nominal		
	1.000 x 3.000 (kg)	1.200 x 3.000 (kg)	1.500 x 3.000 (kg)
0,5	12,0	14,4	18,0
0,6	14,4	17,3	21,6
0,8	19,2	23,0	28,8
1,0	24,0	28,8	36,0
1,2	28,8	34,6	43,2
1,5	36,0	43,2	54,0
1,9	45,6	54,72	68,4

ANEXO 7. Requisitos de calidad GLP NTP

NORMA TÉCNICA  
PERUANA

NTP 321.007  
6 de 14

TABLA 2 – Requisitos de calidad para gas licuado de petróleo (a)

PROPIEDADES	NOMBRE DEL GAS LICUADO DE PETROLEO					METODO DE ENSAYO
	Propano Comercial		Butano Comercial	Mezcla Comercial Propano-Butano		
	min	max	min	max	min	
<b>VOLATILIDAD</b>						
Temperature del 95% de evaporado, °C	-38,3		2,2		2,2	NTP 321.036
Presión de vapor a 37,8°C, kPa (psig)	1430 (208)		485 (70)	793 (115)	1430 (b) (208)	NTP 321.100 ó NTP 321.098(c)
Densidad relativa o densidad a 15,6/15,6°C (d)	Indicar		Indicar		Indicar	NTP 321.098
<b>MATERIA RESIDUAL</b>						
Residuo de evaporación de 100 ml, ml	0,05		0,05		0,05	NTP 321.096
Prueba de la mancha de aceite (e)	Pasa		Pasa		Pasa	NTP 321.096
<b>COMPOSICION, % mol</b>						
Butano y más pesados	2,5					NTP ISO 7941
Pentanos y más pesados			2,0		1,8	NTP ISO 7941
Contenido de dienos (como 1,3 butadieno)	0,5		0,5		0,5	NTP ISO 7941
<b>CORROSIVIDAD</b>						
Azufre total, ppm (f)	185		140		140	NTP 321.099
Corrosión lámina de cobre 1 h a 37,8°C, N° (g)	1		1		1	NTP 321.101
Sulfuro de hidrógeno	Pasa		Pasa		Pasa	NTP 321.097
<b>CONTAMINANTES</b>						
Agua libre (h)	Nulo		Nulo		Nulo	Visual
Olor (i)	Característico		Característico		Característico	
Humedad	Pasa		---		----	NTP 321.094
<b>NOTAS</b>						
(a) Otras especificaciones del GLP podrán ser acordados entre el proveedor y el usuario.						
<b>PRESION DE VAPOR</b>						
(b) Los valores de presión de vapor para las mezclas propano butano: no deben exceder de 1430 kPa (208 psig) que corresponde a un gas con 100% de propano comercial . Para otras mezclas de propano y butano no deberán exceder del calculado mediante la siguiente relación: Máxima presión de vapor observada (kPa) = 1167-1880 (densidad relativa a 15,6/15,6°C) ó 1167-1880 (Densidad a 15,6 °C). Toda mezcla específica de GLP deberá designarse por la presión de vapor a 37,8°C (100°F) en kPa ó (psig).						
(c) En caso de discrepancia de la presión de vapor del producto, el valor determinado por el método NTP 321.100 prevalecerá sobre el valor calculado por el método de la NTP 321.098						

**TABLA 2 – Requisitos de calidad para gas licuado de petróleo (final)**

<b>DENSIDAD RELATIVA</b>
(d) Aunque no es un requerimiento específico, la densidad relativa deberá ser determinada para propósitos de hallar la relación peso/volumen y deberá reportarse. Adicionalmente, la densidad relativa de mezcla propano-butano es requerida para calcular la presión de vapor máxima permisible (véase nota b).
<b>PRUEBA DE LA MANCHA</b>
(e) Un producto aceptable no producirá un anillo de aceite persistente cuando se añada 0,3 ml de mezcla de solvente y residuo a un papel filtro, en incrementos de 0,1 ml y examinado a la luz del día después de 2 minutos, tal como describe el método de la NTP 321.096.
<b>AZUFRE TOTAL</b>
(f) Cuando se adiciona odorante al producto, la determinación de azufre se hará después de dicho agregado.
<b>CORROSIÓN LÁMINA DE COBRE</b>
(g) Este método no puede determinar con exactitud la presencia de materiales reactivos por ejemplo H <sub>2</sub> S, S, en el GLP, si es que el producto contiene inhibidores de corrosión u otros productos químicos, los cuales neutralizan la reacción a la lámina de cobre.
<b>AGUA LIBRE</b>
(h) Observación visual durante la determinación de la densidad relativa por el método de la NTP 321.095
<b>OLOR</b>
(i) El GLP deberá contener un odorante que permita su detección por el olfato

## **ANEXO 8.** Planos del Caldero



*“Año del Buen Servicio al Ciudadano”.*



# **ASAMBLEA NACIONAL DE RECTORES**

COMISIÓN DE COORDINACIÓN INTERUNIVERSITARIA

Calle Aldabas Nº 337  
Las Gardenias – Surco  
Lima – 33 – Perú  
Central Teléf. Nº: 275 – 4608

## **“CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN – TIPRO”**

**Resolución Nº 1562-2006-ANR**

### **REGISTRO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

#### **I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):**

- Universidad: Universidad Nacional del Santa
- Escuela o Carrera Profesional: Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía
- Título del Trabajo: ANÁLISIS DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN CALDERO PIROTUBULAR CON FINES ACADÉMICOS EN LA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA.
- Área de Investigación: Ingeniería
- Sub Área de Investigación: Innovación Tecnológica
- Línea de Investigación: Tecnologías Energéticas

- Autor(es):
  - Pinedo Alvarrán, Ervin Lenin.
  - Ruiz Custodio, Ever Eduardo.
  
- DNI Apellidos y Nombres:
  - Pinedo Alvarrán, Ervin Lenin (45200046)
  - Ruiz Custodio, Ever Eduardo (46621398)
  
- Título profesional a que conduce: Ingeniero En Energía
  
- Año de aprobación de la sustentación: 2017.

## II. CONTENIDO DEL RESUMEN

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

¿Es factible diseñar, construir y evaluar un caldero del tipo pirotubular cuya finalidad sea prácticas en el laboratorio de termofluidos en la Escuela Académica de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa?

- **OBJETIVOS:**

**Objetivo General:**

Analizar el diseño, construcción y evaluación de un caldero pirotubular, utilizado con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

- **Objetivo específico:**

- ✓ Determinar los parámetros de diseño de un caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.
- ✓ Construir un caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.
- ✓ Evaluar los parámetros de funcionamiento del caldero pirotubular para el laboratorio de termofluidos con fines académicos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía.

- **HIPÓTESIS:**

La hipótesis que se plantea al problema formulado es la siguiente:  
“El diseño, construcción y evaluación tendrá la finalidad de realizar prácticas en el laboratorio de termofluidos en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía”

- **BREVE REFERENCIA AL MARCO TEÓRICO (10 A 20 LÍNEAS):**

El presente proyecto denominado diseño, construcción y evaluación de un caldero tipo pirotubular consiste en un equipo térmico conformado por un recipiente metálico, cerrado, hermético, presurizado destinado a producir vapor o calentar agua este a su vez se clasifica:

**Calderas pirotubulares:** Son aquellos calderos de tipo paquete que se caracterizan porque los gases calientes de la combustión fluyen a través de los tubos, mientras que el agua está contenido en un depósito que contiene a los tubos, produciéndose la transferencia de calor desde dentro de los tubos hacia fuera.

Tiene ventajas y desventajas:

- **Ventajas:**

Menos costo inicial.

Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.

- **Desventajas:**

Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.

Mayor tiempo para subir la presión y entrar en funcionamiento.

No son empleadas para altas presiones.

- **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES:**

- **Conclusiones:**

- ✓ Se determinó los parámetros de diseño de un caldero pirotubular de 6 BHP, cuyas condiciones nominales de operación son 6 bar de

- presión, 79.3 kg/h de producción de vapor y 2.42 kg/m<sup>3</sup> de consumo de combustible GLP para un 85% de rendimiento térmico del caldero.
- ✓ En el diseño se determinó los componentes del caldero pirotubular que consiste: 26 tubos de humo de DN 1" Sch 40 con una longitud de 0.90 m y con arreglo triangular, 1 tubo del hogar o cámara de combustión de DN 4" Sch 40 con longitud de 1.12 m (longitud efectiva de transferencia 0.90 m), 2 espejos laterales con 26 agujeros de DN 2" y 1 agujero de DN 4" y diámetros interno 0.4572 m, cuerpo de la caldera plancha de acero al carbono ASTM A-36 cuyas dimensiones son DI 457.2 mm y Longitud 1082.7 mm. Además se calculó el volumen de agua requerido para la caldera de 80.71 litros de agua.
  - ✓ En el diseño se realizó un cálculo de combustión se determinó que en condiciones nominales de operación se requieren 95.3 kg de aire por hora y eso generara 100.4 kg de gases por hora. Para esta combustión completa con exceso de 20% de aire la máxima temperatura en condición adiabática será 1851.1 °C el cual es soportado por el quemador de GLP.
  - ✓ Se realizó la construcción del caldero pirotubular, en un taller de estructuras metálicas, que cuenta con todos las máquinas y equipos requeridos (torno, fresa máquinas de soldar, esmeriladora, etc.) y realizo por personal especializado en el área. Al equipo terminado se realizaron las pruebas requeridas según norma ASME para la construcción de calderas las cuales se cumplieron con rigurosidad.

- ✓ Se realizó la evaluación preliminar de la presión de operación del caldero pirotubular la que alcanzó los 3 bar manométricos en aproximadamente 40 minutos a máxima llama (regulada en la entrada de GLP al quemador).
- ✓ En la evaluación con fines de cálculo del rendimiento térmico se controló el consumo de agua y combustible en intervalos de tiempos variados (5, 2 y 1 minuto) y manteniéndose la presión en tres niveles 2, 1.5 y 1 bar manométrico, con lo cual se consiguió cuantificar el rendimiento térmico mediante el método directo en 72.8%.

➤ **Recomendaciones:**

- ✓ El uso de los equipos auxiliares para calderas debe centrarse en la optimización y seguridad del funcionamiento de las mismas. La caldera tiene un indicador de nivel de agua, mas por motivos de presupuesto no se implementó el sistema de reposición automática de agua, para cuando los trabajos sean prolongados. Además una válvula de seguridad para cuando los niveles de presión aumenten por encima de la presión de operación o diseño. Estos dos puntos son importantes por cuanto es un equipo de laboratorio y será manipulado por alumnos de la escuela.
- ✓ Es importante para la prolongación de la vida útil de los tubos y cuerpo interno de la caldera que el agua de alimentación sea tratada (para disminuir la corrosión y formación de sarros), tal como lo indica

la teoría y la experiencia, en tal sentido un sistema auxiliar de tratamiento de agua sería recomendable.

- ✓ Para aquellas superficies metálicas que vayan estar en contacto con el ambiente, y de vez en cuando con agua se puede pintar con pinturas anticorrosivas líquidas, y las superficies metálicas en contacto permanente con el agua con pinturas en polvo horneables.
- ✓ La selección de los tornillos para los flanges o bridas es un paso muy importante para garantizar que al apretar los tornillos, las bridas no se pandeen, y para que la presión se distribuya uniformemente sobre todos los tornillos, considerando que estarán sometidos a presión y altas temperaturas.
- ✓ Para trabajos futuros se debe pensar en mejorar la eficiencia de la caldera, usando hogares o cámaras de combustión cerrados, ya que con estos se puede garantizar que el calor de radiación puede ser aprovechado para calentar los tubos de humo.
- ✓ El trabajo del caldero pirotubular debe estar supeditado a la observación y cumplimiento de las normas de funcionamiento y seguridad, por ello se recomienda contar con sus respectivos manuales de operación y mantenimiento.

- **BIBLIOGRAFÍA:**

- Incropera, F. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Pearson Education.
- Moran, M. & Shapiro, H. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica. Usa: Editorial Reverté.
- Cengel, Y. & Ghajar, A. (2011). Transferencia de Calor y Masa. Mexico: McGraw-Hill.
- Holman, J. (1999). Transferencia de Calor. México: Compañía Editorial Continental.
- PULL, E. (1997). Calderas de vapor. Selección, funcionamiento y conservación de la caldera de vapor y de su equipo auxiliar. España: Editorial Gustavo Gili.
- Bahr, H. & Herre, O. (1991). Calderas Máquinas de Vapor. México: Editorial Labor.
- Kohan, A. (2000). Manual de Calderas. España: McGraw-Hill.
- Suasnabar Dávila, M. (2014). Diseño de caldera domestica para quemar bosta. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Perú, Lima.
- Hernández González, J. (2011). Diseño y evaluación de un generador de vapor de baja potencia. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Punina Guerrero, D. & Arcos Robayo, 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, Ecuador.

- Iguarán Duarte, O. & Martínez Barrios, D. (2008). Diseño y construcción de una mini caldera pirotubular para el laboratorio de transferencia de calor. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanda, Ecuador.