

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO DE UNA CALDERA PARA GENERAR VAPOR DEL  
TIPO PIROTUBULAR DE 10 BHP CON 150 PSI DE PRESIÓN  
MÁXIMA Y DE COMBUSTIBLE DIÉSEL**

**TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CÉSAR CRUZ SALAMANCA**

**TUTOR:  
ING. JOSE CARLOS VARGAS**

**San José, Costa Rica**

**Diciembre de 2022**

## CONTENIDO

CAPÍTULO I. PROBLEMA .....	13
Definición del problema de estudio .....	13
Objetivo general .....	13
Objetivos específicos.....	13
Justificación.....	13
Alcance del proyecto.....	14
Limitaciones .....	14
Antecedentes .....	15
Antecedentes nacionales.....	15
Antecedentes internacionales .....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	23
Vapor .....	23
Caldera .....	23
Normas nacionales del reglamento de caldera .....	80
Cálculo de transferencia de calor para estimar el quemador de la caldera .....	81
Trasferencia de calor en el hogar de la caldera. ....	83
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	87
Enfoque de la investigación .....	87
Método de investigación .....	87
Fuentes de información .....	87
VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS .....	88
Proceso para la recolección y análisis de datos.....	92
CAPÍTULO IV. DISEÑO TÉRMICO DE LA CALDERA .....	93
Datos de diseño .....	94

Especificación del cuerpo cilíndrico de la caldera .....	97
Especificación de los espejos de la caldera .....	98
Cálculo del Hogar de la caldera .....	99
Cálculo del diámetro del hogar.....	99
Cálculo del espesor(t), altura de anillo(hr) y espesor de anillo(tr) para el hogar .....	99
Cálculo de tubos de fuego .....	102
Cálculo del espesor del tubo.....	102
Cálculo de la cantidad de tubos de fuego .....	102
Cálculo de la longitud de tubos .....	105
Cálculo de superficie de calefacción de un tubo (st) .....	105
Cálculo de superficie de calefacción del hogar (sf).....	106
Cálculo de la superficie de transferencia de calor de la placa portatubo sp .....	106
Cálculo de la longitud de los tubos .....	106
Tirantes de refuerzo en placas portatubos.....	106
Cálculo del casco de la caldera .....	107
Cálculo del espesor de la cáscara .....	107
Cálculo de la longitud circunferencial del casco: Lc.....	108
Cálculo de la longitud de la carcasa (Lc) .....	109
Cálculos generales de la caldera.....	109
Cálculo del acople mecánico (flange) para la salida de vapor de agua .....	109
Acople para válvula de seguridad .....	113
Acople soldable para purga de espuma .....	113
Manhole de inspección (Tortuga).....	114
Acoplamiento para medición de temperatura en la chimenea.....	114
Diámetro de la chimenea.....	114

Tapas metálicas, anterior y posterior.....	114
Elección del controlador de nivel de agua de la caldera .....	115
Elección del controlador de apagado por alta presión.....	116
Elección del segundo controlador de bajo nivel de agua de la caldera .....	116
Elección del sistema de control de presión .....	117
Selección del manómetro de presión.....	117
Plan de mantenimiento caldera diseñada .....	118
Cronograma de mantenimiento .....	120
Comparación de costos entre crear el producto o importarlo terminado .....	121
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	122
REFERENCIAS .....	123
ANEXOS.....	126
Anexo 1. Especificaciones técnicas del quemador de la caldera BLT 20P .....	126
Anexo 2. Especificaciones técnicas del controlador de nivel de agua de la caldera 157s.....	130
Anexo 3. Especificaciones técnicas del controlador de alta presión Honeywell L404F1 .....	131
Anexo 4. Especificaciones técnicas del controlador de bajo nivel de agua de la caldera McDonnell 193 .....	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Típico caldero pirotubular horizontal .....	24
<b>Figura 2.</b> Caldero pirotubular vertical .....	26
<b>Figura 3.</b> Típico caldero pirotubular .....	27
<b>Figura 4.</b> Diseños constructivos de calderos .....	32
<b>Figura 5.</b> Ubicación de la puerta hogar del caldero] .....	33
<b>Figura 6.</b> Partes de una Caldera de 2 pasos .....	35
<b>Figura 7.</b> Partes de una caldera de 3 pasos .....	36
<b>Figura 8.</b> Soldadura metálica de arco .....	51
<b>Figura 9.</b> Terminología de la soldadura para soldadura a tope y con material de relleno. ....	53
<b>Figura 10.</b> Algunos defectos de soldadura: .....	54
<b>Figura 11.</b> Las grietas en las soldaduras tienen múltiples causal .....	56
<b>Figura 12.</b> Las pruebas mecánicas de soldadura incluyen flexión guiada de las soldaduras de garganta. ....	60
<b>Figura 13.</b> Código de posiciones de soldar para soldaduras de garganta utilizadas para cualificar operadores. Posiciones de las pruebas.....	62
<b>Figura 14.</b> Películas radiográficas para estudiar las formas típicas de los defectos.....	70
<b>Figura 15.</b> Penetrómetro y situación de la arandela o cuna en radiografía .....	71
<b>Figura 16.</b> Inspección de partículas magnéticas.....	72
<b>Figura 17.</b> La inspección por líquido penetrante implica cuatro pasos para revelar un defecto ...	75
<b>Figura 18.</b> Detalles de probetas de cristal detectoras de ultrasonidos para sistemas de detección longitudinal y axial.....	77
<b>Figura 19.</b> Diagrama térmico .....	82
<b>Figura 20.</b> Transferencia de calor en el hogar de la caldera.....	83
<b>Figura 21.</b> Catálogo del fabricante de quemadores italiano Baltur .....	94

<b>Figura 22.</b> Características placa de acero ASME SA285 .....	95
<b>Figura 23.</b> Material SA.515 GRADO 70 .....	96
<b>Figura 24.</b> Tubos de acero SA 192 .....	97
<b>Figura 25.</b> .....	101
<b>Figura 26.</b> Especificaciones de los tubos de fuego .....	104
<b>Figura 27.</b> Código ASME.....	110
<b>Figura 28.</b> Acople para válvula de seguridad .....	113
<b>Figura 29.</b> Controlador de nivel de agua de la caldera.....	115
<b>Figura 30.</b> Controlador de alta presión.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Aplicación de las normas ISO .....	46
<b>Tabla 2.</b> Maquinas típicas de rayos X utilizadas en radiografías para comprobar defectos metálicos .....	68
<b>Tabla 3.</b> Fuentes radioactivas de rayos gamma utilizadas en radiografías para detectar defectos de material.....	68
<b>Tabla 4.</b> Refuerzos de soldadura.....	70
<b>Tabla 5.</b> Los valores de <i>cij</i> , N y M para el humo del agua y el dióxido de carbono.....	86
<b>Tabla 6.</b> Variables o unidades de análisis .....	88
<b>Tabla 7.</b> Espesor mínimo para placas según el diámetro.....	98
<b>Tabla 8.</b> Tabla PFT-12.1.....	102
<b>Tabla 9.</b> Datos para el cálculo de la longitud de tubos .....	105
<b>Tabla 10.</b> Valores del cálculo del acople mecánico (flange) para la salida de vapor de agua .....	109
<b>Tabla 11.</b> Tabla de vapor saturado .....	111
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones del sistema de control de presión.....	117
<b>Tabla 13.</b> Especificaciones del manómetro de presión.....	117
<b>Tabla 14.</b> Resumen de las partes de la caldera (Módulo principal).....	118
<b>Tabla 15.</b> Cronograma .....	120
<b>Tabla 16.</b> Cálculo de inversión inicial para construir una caldera.....	121

## RESUMEN EJECUTIVO

La intención del presente trabajo está proyectada en el plan de desarrollo económico que tanto demanda el país, a causa de la pandemia del COVID-19 y la crisis global de contenedores; los cuales aumentan los costos de importación significativamente. La idea de construir de forma local equipos que, en la actualidad, se importan puede generar empleos de forma local y aumentar el espectro de bienes importados actualmente.

Para lograr ese objetivo, se propone la selección y construcción de forma local de una caldera de 10 BHP del tipo pirotubular para trabajar a 150 PSI, la cual es la más demandada especialmente en las pymes. Con el fin de conseguirlo de manera uniforme, primero se concentraron esfuerzos en las calderas pirotubulares y sus sistemas de funcionamiento exterior e interior, con el objetivo de planificar un diseño que se ajuste a las necesidades del mercado costarricense.

El mercado meta está proyectado, principalmente, en las organizaciones pyme que podrían utilizar el vapor en sus aplicaciones. Por lo que se establecieron los límites de trabajo, por ejemplo, el factor de presión de trabajo y el tipo de combustible, además de reconocer las preferencias e inclinaciones de los compradores.

Una vez elegida la opción más razonable, se procede a la planificación detallada en tres fases: la fase de planificación del diseño térmico, en la que se establecieron los componentes del sistema de transferencia de calor; la fase de configuración del marco de control, en la que se eligieron los componentes de control y el *hardware* importantes para la actividad de la caldera; y la fase de planificación mecánica, en la que se caracterizaron los materiales y las medidas de las piezas expuestas a la presión. Adicionalmente, se realizan los planos de montaje del *hardware* y de sus módulos de operación y control.

## **CAPÍTULO I. PROBLEMA**

### **Definición del problema de estudio**

¿Cuál es el diseño de una caldera para generar vapor del tipo peritubular de 10 BHP con 150 psi de presión máxima y de combustible diésel?

### **Objetivo general**

Elaborar un diseño mecánico que se adapte a las necesidades del mercado costarricense, a través del correcto dimensionamiento de una caldera para generar vapor del tipo pirotubular de 10 BHP con 150 psi de presión máxima y de combustible diésel, ya que actualmente este tipo de equipamiento solo se logra adquirir en compras internacionales.

### **Objetivos específicos**

1. Dimensionar los elementos mecánicos que en conjunto trabajen como una caldera que genere vapor hasta un máximo de 10 BHP a 150 PSI.
2. Definir los elementos de control que garanticen la óptima y segura operación de esta caldera pirotubular de 10 BHP a 150 PSI.
3. Elaborar modelos en tres dimensiones de los elementos mecánicos de la caldera, para así hacer simulaciones mecánicas de esfuerzos y resistencia de materiales.
4. Diseñar un plan de mantenimiento mensual a la caldera de vapor para garantizar una operación constante en la caldera de 10 HP.

### **Justificación**

Para dinamizar la economía de un país y siguiendo el ejemplo de China y Brasil, la opción más viable es la fabricación local de equipos esenciales para la industria, así como depender menos de materiales y mano de obra extranjera. Por tal motivo, nació la idea de diseñar de forma correcta la primera caldera de combustión de 10 BHP. Con este diseño, se podrá cubrir un amplio espectro de clientes dentro de Costa Rica, los cuales tienen necesidades de equipos confiables y robustos para sus aplicaciones locales; de tal forma que la caldera en cuestión cubre esa necesidad que tanto ha quedado relegada desde hace tiempo; así mismo, apoya la fabricación local de equipos industriales, los cuales ayudan a mejorar la economía nacional.

### **Alcance del proyecto**

El alcance del proyecto es seleccionar los materiales adecuados para el correcto diseño de una caldera pirotubular de 10 BHP, la cual produzca vapor para su uso industrial. De forma expresa, se indica que el diseño de la cimentación para instalar la caldera no forma parte de este proyecto, ya que esto deberá ser delegado a un ingeniero civil. También se excluyen de este proyecto los cálculos y diseños eléctricos, ya que estos deberán ser indicados por un ingeniero eléctrico o profesional de un ámbito similar.

Se entrega el diseño mecánico y de materiales para la correcta fabricación de una caldera pirotubular de 10 BHP, así como todos los elementos de seguridad y correcta operación de esta. Además, los resultados finales de esta investigación, como planos, diagramas, cálculos de equipos se anexarán en un CD para su posterior entrega. Como entregables, se darán:

1. Memoria de cálculo en CD, para cada uno de los sistemas.
2. Planos sobre los distintos sistemas por implementar.

### **Limitaciones**

Una de las limitaciones más relevantes en el diseño de este equipo es la posibilidad de conseguir el quemador requerido para la cámara de combustión, ya que este no se fabrica en el país, y estaría condicionado a su importación.

El proyecto se enfoca en la parte de diseño del equipo, no se extiende a la fabricación de la caldera para generar vapor del tipo pirotubulares de 10 BHP con 150 psi de presión máxima y de combustible diésel, debido a que no se cuenta con los recursos económicos para la implementación de un proyecto de esta magnitud.

El análisis mecánico de los elementos finitos se realiza solamente en el *software* SolidWorks; no incluirá análisis en programas diferentes a este, debido a la limitación que se tiene en el tema de licencias profesionales de uso. El costo elevado de estas hace que sea limitado a un solo *software*.

## Antecedentes

### Antecedentes nacionales

**Institución:** Universidad Internacional de las Américas.

**Título:** Estudio de viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica.

**Autor:** Ing. Dilan Alfonso Acuña Bermúdez.

**Fecha:** julio del 2020.

Esta tesis es una guía de viabilidad para el cambio de una caldera de combustión, siguiendo las normas del Código 26789-MTSS y 39813-S-MTSS del Ministerio de Trabajo y Seguridad de Costa Rica. Es un rediseño por el cambio de una caldera, de combustión a una eléctrica, lo cual indica que se tomaron parámetros iniciales de equipos que funcionan con combustibles fósiles para sus cálculos iniciales. Además, dichos cálculos están hechos para Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social.

Como objetivo principal, se tiene analizar cuál es la viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social, mediante un estudio técnico, económico y ambiental. Por lo que el documento sirve como guía para la implementación de parámetros conceptuales y técnicos para la selección de una caldera.

**Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Título:** Rediseño del sistema de vapor del Hotel Wyndham San José-Herradura.

**Autor:** Ing. Alejandro Lamar Núñez

**Fecha:** julio de 2018.

Esta tesis es una guía para el mejor entendimiento de los parámetros requeridos para dimensionar una red de vapor; esto con el fin de hacer una excelente implementación de líneas de vapor en el proyecto. Es un rediseño del sistema de vapor del Hotel Wyndham San José-Herradura, lo cual indica que se tomaron parámetros de equipos que funcionan con combustibles fósiles para sus cálculos iniciales. Además, dichos cálculos los compararon con los existentes para determinar si eran correctos.

Cabe mencionar que, en esta tesis, se utilizó la herramienta de cálculo de tubería y velocidades de la empresa Spirax Sarco, la cual sirvió como referencia inicial para determinar

algunos parámetros previos vistos en el libro *hook Ups* de la misma marca. Como objetivo principal se tiene rediseñar el sistema de vapor del Hotel Wyndham San José-Herradura para que cumpla con los requisitos del reglamento de calderas de Costa Rica y que abastezca correctamente los equipos que consumen vapor. Por lo tanto, el documento sirve como guía para la implementación de parámetros conceptuales y técnicos para la selección de una caldera de combustible fósil tipo diésel.

**Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Título:** Diseño de una planta generadora de electricidad a partir de vapor.

**Autor:** Ing. Jorge Esteban Ureña Chaves

**Fecha:** julio del 2007

Tesis de gran valía, por su relación histórica con el consumo energético en Costa Rica, donde denota que, en horas pico, el país usa combustibles fósiles para suplir la demanda energética. También hace relación a los procesos de diseño, lo cual compete en el desarrollo de este proyecto de diseño de caldera de 10 HP.

El autor relata de forma excelsa el uso de combustibles fósiles en la matriz energética durante el desarrollo de su tesis; en esta, hace referencia a los modelos energéticos que puede implementar el país para aprovechar toda la infraestructura eléctrica existente. Además, el procedimiento de idealización del proceso de la planta generadora sirve como base metodológica para la concepción de ideas en cuanto al diseño que aquí compete. Debido a lo anterior, el documento sirve como guía conceptual y técnica para idear la caldera de 10 HP de combustible diésel.

**Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Título:** Diseño de un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de combustión en una caldera industrial.

**Autor:** Ing. Gustavo Rojas Soto

**Fecha:** julio de 2005

El autor explora la situación de una de las empresas más grandes en el área de bebidas y refrescos en Costa Rica, detallando el funcionamiento actual del sistema de control que tiene la

caldera de vapor existente. Brinda un amplio marco teórico que explica de forma magistral los detalles técnicos de la caldera que posee la compañía.

La tesis del Ing. Soto sirve como eje para idealizar los conceptos básicos de control automático que debe llevar una caldera de combustión. Los cuales a nivel de la tesis son básicos, pero sirven de plataforma general para que el expositor mejore los controladores automáticos que tiene la caldera en la planta de Florida Ice and Farm en Costa Rica.

Explora de forma detallada los sistemas eléctricos de una caldera, y busca la forma de maximizar su desempeño en el funcionamiento de estos, en el proceso de desarrollo de la tesis. Por tal motivo, se puede usar como referencia para esquematizar los elementos básicos de control que deberá llevar la caldera que compete en este proyecto.

**Institución:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Título:** Rediseño de la red de vapor de la Fábrica Nacional de Licores

**Autor:** Ing. Fabricio Hidalgo Rodríguez

**Fecha:** agosto de 2020

Es una amplia adaptación escrita de la situación actual que vive la Fábrica Nacional de Licores (FANAL); esto debido a la demanda de alcohol para uso médico y desinfectante provocada por la pandemia del COVID-19, lo cual ha requerido que la empresa lleve al límite toda su capacidad instalada.

La tubería e instalación actual data de 1981, fecha en la que se dio el cambio de ubicación de dicha fábrica del área metropolitana de San José hacia su nueva ubicación en Grecia de Alajuela. Añade el autor que el volumen actual de vapor es de 3780 kg/h; dato relevante para el rediseño que el ingeniero Hidalgo (2020) propone en su tesis.

Su tesis fue de extraordinaria ayuda para ver algunas partes significativas de la interacción elegida de la línea de vapor. Ideal complemento a la tesis de Lamar (2018), donde se denotan las estimaciones técnicas basadas en el libro *hook Ups* de Spirax Sarco, en el dimensionado correcto de las lianas de vapor. Tanto la tesis de Lamar (2018) como la de Hidalgo (2020) fueron un complemento ideal para el correcto dimensionado del *manifold* de vapor que debe tener la caldera de 10 HP que aquí compete.

**Institución:** Universidad Internacional de las Américas

**Título:** Diseño del sistema electromecánico de condominios La Loma en Sabanilla.

**Autor:** Ing. Brian Quesada Solano.

**Fecha:** noviembre de 2018.

Esta tesis es una guía del diseño electromecánico de un condominio ubicado en San José, siguiendo las normas del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, así como las normas del Código Eléctrico Nacional.

Es una construcción que consta de 14 apartamentos con un área de 60 m<sup>2</sup> cada uno. La edificación cuenta con dos niveles, cada nivel alberga siete apartamentos; cuenta con áreas comunes como parqueos y pasillos, además de una casetilla para el vigilante que también funciona como cuarto de mantenimiento y almacenamiento.

Como objetivo principal, se tiene la optimización de la energía y el logro de una residencia amigable con el medioambiente, por lo que fue creado un sistema de tratamiento de aguas negras y servidas. Finalmente, la elección de esta tesis para usarla como antecedentes radica en la explicación que hace el autor referente al cálculo de calibres de cables conductores para los apartamentos dentro de la norma establecida en Costa Rica para dicha finalidad.

### **Antecedentes internacionales**

**Institución:** Universidad Nacional de Colombia, Colombia

**Título:** Principios básicos para el diseño de líneas de vapor.

**Autor:** Ing. Héctor Iván Velásquez Arredondo.

**Fecha:** julio de 2000.

Esta tesis fue de gran apoyo para entender algunos aspectos relevantes del proceso de selección de las líneas de vapor. Ya que toma como referencia este paradigma para luego arrancar con el proceso de selección. Cabe mencionar que esta tesis fue presentada por el Ing. Velásquez, para optar por el título de docente, motivo por el cual el análisis es muy elocuente en su desarrollo.

Cabe mencionar que, en dicho proyecto, se utilizaron varias fórmulas matemáticas que Velásquez (2000) vio en la universidad. Motivo por el cual la guía educativa del proceso de diseño fue basada en esta teoría, no fueron realizados muchos cálculos fuera de los vistos en clase.

Como la tesis es del 2000, no se tiene como referencia las citas hechas en cuanto a normativa, ya que esta tiene más de dos décadas de antigüedad. Durante este tiempo, se ha renovado

la normativa internacional para elementos de vapor y hace que esta información sea obsoleta para los fines del proyecto.

**Institución:** Universidad Santo Tomás, Colombia

**Título:** Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos.

**Autor:** Ing. Sonia Paola Burbano Rojas

**Fecha:** julio de 2014

Esta tesis tiene mucha información general del diseño y dimensionado de un intercambiador de calor desde cero, aplicando el modelo del proceso de diseños, ya que el autor comenzó el proceso de concepción de bocetos, desde el inicio. Conceptualizó lo relacionado con un intercambiador de tubo y carcasa, así como todos los sistemas de seguridad de este. Parte importante de lo recabado en esta tesis es el nivel de astucia del diseñador del equipo con el tema manejo de *software* de modelado de piezas y cálculo de esfuerzos en SolidWorks.

La autora recalca en su marco teórico lo relacionado con la teoría de transferencia de calor en cuanto a elementos metálicos se refiere, mucha información relevante para el desarrollo de un marco teórico para la presente tesis.

**Institución:** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

**Título:** Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el laboratorio de transferencia de calor.

**Autores:** Ing. Diego Javier Punina Guerrero; Ing. Juan Rafael Arcos Robayo

**Fecha:** febrero de 2014

Se presenta el desarrollo y el establecimiento de un generador de vapor, cuyo objetivo principal es dar vapor a una presión específica para la instalación de Transferencia de Calor. Este vapor se utiliza para trabajar con los estudiantes en su conocimiento. En el plan del equipo, se pensó en las condiciones, límites, necesidades y propuestas recomendadas en el segmento I del código ASME. Además, el autor eligió el quemador de *gasoil*, no obstante, los materiales se sugieren con certificación ASME segmento I.

Esta tesis fue de extraordinaria ayuda para ver algunas partes significativas en el tema de diseño de calderas, las cuales serán consideradas en el proceso de cálculos de materiales y equipos periféricos, el tema principal del presente proyecto. Vale la pena recalcar que, en esta tesis, se

utilizaron algunas ecuaciones numéricas que Punina y Arcos (2014) estudiaron en la universidad. De ahí que la ayuda descrita será de mucho apoyo técnico.

**Institución:** Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

**Título:** Diseño de caldera doméstica para quemar bosta.

**Autor:** Ing. Miguel Jesús Suasnabar Dávila

**Fecha:** junio de 2014

Su tesis ha consistido en el programa de una caldera de calefacción, para su beneficio en las comarcas altas andinas del Perú, cuyo carburante es boñiga. La caldera es del tipo pirotubular vertical, y tiene un suministro energético de 11.2 Kw, calentando desde los 5°C incluso los 80°C. Este incremento de temperatura se obtiene por la quema de boñiga a una capacidad de 4 kg/h en la operadora de ignición. Además, el suministro energético de la caldera puede ser utilizado para calefacción de una casa característica de las comarcas alto andinas del Perú.

Para el quemador se utilizó la analogía de convección de Dittus Boelter, entre otros, con el fin de especificar la geometría completa del grupo. Este trabajo ha realizado el proceso de diseño de una caldera para el calentamiento de agua en las zonas altoandinas del Perú, cuyo combustible es la leña. El calentador es del tipo pirotubular vertical, y tiene un suministro de energía de 11,2 kW, calentando el agua de 5°C a 80°C. Esta expansión de temperatura en el agua se adquiere por la combustión de residuos de bosta.

La base del diseño del equipo servirá como fundamento en el diseño de la caldera de 10 BHP, la diferencia radica en el hogar de quemado de combustible, ya que la pirú-tubular será con combustible diésel y esta es para uso de bosta generada en un proceso industrial del Perú.

**Institución:** Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

**Título:** Diseño termohidráulico de una caldera para recuperar energía de los gases de escape de una turbina de gas.

**Autores:** Ing. Fabrizio Andrés Mena Cáceres; Ing. Lucy Vanessa Silva Salgado

**Fecha:** diciembre 2009

El presente proyecto de tesis estuvo enfocado en desarrollar el modelo que considere, de una manera bastante cercana, las dimensiones y la eficiencia en el diseño de una caldera para recuperar la energía de los gases de escape de una turbina de gas por medio del análisis térmico del

ciclo combinado, y así determinar si los parámetros encontrados están dentro de las condiciones normales de operación.

El objetivo principal de esta tesis fue determinar la capacidad y viabilidad de la caldera, por medio del diseño de un modelo matemático que pudiera realizar los cálculos necesarios para el análisis de este sistema; así como conocer las características tanto de la fuente de calor como las del proceso que se quiere alimentar en términos de flujos, calores específicos y temperaturas; además, por medio de los resultados obtenidos, establecer si el diseño de esta caldera es correcto.

Esta caldera, formada por el evaporador, supercalentador y el economizador, permite la producción de vapor de agua sobrecalentada o de flujo térmico, a partir de los gases de combustión provenientes de la turbina de gas.

El proyecto realizado en el Ecuador está propuesto para usar los gases de escape de una turbina, y que operen en el calentamiento de agua en una caldera. Por lo cual, este trabajo sirve como base para la implementación básica de un marco teórico fluido, donde se explican las características de las calderas pirutubulares. Y sirve como fundamento para fortalecer el marco teórico que debe ser detallado y acotado para definir las características técnicas de este proyecto.

***Institución:*** Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú.

***Título:*** Diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 M.S.N.M

***Autores:*** Ing. Neil Alfio Cansaya Quispe; Ing. Pedro Huallata Apaza

***Fecha:*** agosto de 2015

Este trabajo de investigación tiene como objetivo mostrar el cálculo de calderas pirotubulares en altitudes superiores a 3 800 m.s.n.m. y descubrir fallas en la generación de calor debido a la combustión con un déficit de oxígeno bastante bajo en estas altitudes.

Funciona de forma comparativa, identificando los parámetros de funcionamiento para realizar los cálculos más importantes de las calderas; es decir, eficiencia, trabajo, transmisión de calor, evaporación de condensado a temperaturas inferiores a 100 ° C y la consiguiente producción de vapor en altura. Considera que el cálculo más importante de una caldera de tubo de fuego es la eficiencia, porque, a través de ella, se determina el funcionamiento de la máquina.

También se debe tener en cuenta que la eficiencia de una caldera de vapor se determina como el porcentaje de combustible que se convierte en energía térmica para producir vapor. El

método utilizado para calcular este parámetro suele ser el método de pérdida de calor, en el que las pérdidas de calor individuales se suman como porcentaje de la energía suministrada y se restan del 100%. El valor del punto de funcionamiento normal de las calderas industriales es del 80%, y el rango de funcionamiento normalmente varía entre el 65% y el 85% en condiciones atmosféricas normales; es decir, a nivel del mar. En este trabajo, se recalculan los valores mencionados anteriormente, con el fin de tener en cuenta acciones para el diseño de estas máquinas o sus modificaciones constructivas para su funcionamiento en altura.

Esta tesis fue de extraordinaria ayuda para ver algunas partes significativas de la interacción de elección de equipos mecánicos. Vale recalcar este trabajo elaborado por Cansaya y Huallata (2015) en la elección de elementos mecánicos de control para la presión de la caldera, ya que este proyecto está pensado para calderas que van a operar por arriba de 3800 m.s.n.m, lo cual cambia por completo la logística de la concepción de la caldera y sobre la operación de esta.

Es relevante enfocar que, en esta propuesta, se utilizaron algunas ecuaciones numéricas que el Ing. Huallata efectuó en su educación superior, lo cual le ayudó a determinar los elementos requeridos para la operación ideal de la caldera (Cansaya y Huallata, 2015). Dicha información es valiosa en el proceso de diseño y también para identificar elementos de control y mecánicos adecuados para la operación de la caldera que está en proceso de diseño.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **Vapor**

Cuando se habla de vapor, se suele aludir al humo del agua, ya que ha sido una sustancia vital a lo largo de toda la existencia de la humanidad. El vapor de agua es, básicamente, agua con un grado de energía tal que puede vencer las fuerzas firmes que mantienen unidos a los átomos, haciendo que se separen unos de otros. En termodinámica, el estado de humos se conoce como la condición vaporosa de una sustancia por debajo del lugar básico de esa sustancia.

Como indica Sevilla (2004), el principal uso conocido y registrado del eje de vapor se remonta a la reliquia con el cañón de vapor de Arquímedes de Siracusa (287-212 a.C.), que se utilizó para proteger a Siracusa del ataque romano. Ha habido innumerables casos en los que esta sustancia ha sido utilizada por la gente para realizar diferentes diligencias. Hoy en día, el trabajo que el vapor ha desempeñado en la mejora de la humanidad es incuestionable, y la confirmación está en el avance del motor de vapor, que impulsó todo un trastorno mecánico. Además, el vapor se utiliza en una gran variedad de ciclos, ya que la materia prima para crearlo (el agua) es abundante, fácil de adquirir y, en consecuencia, conservadora; es una sustancia apta para enviar mucha energía por cada unidad de masa, no siendo difícil de producir, dispersar y controlar.

A partir de ahora, los principales empleos del vapor en la industria son la edad de trabajo, principalmente en las plantas de energía termoeléctrica, atómica y geotérmica, y en las medidas de movimiento de calor, por ejemplo, en los negocios petroquímicos, de sustancias, de drogas, metalúrgicos, marítimos, materiales, residuos, cervecería, tabaco, alimentación, bebidas, caucho, servicios, etc.

### **Caldera**

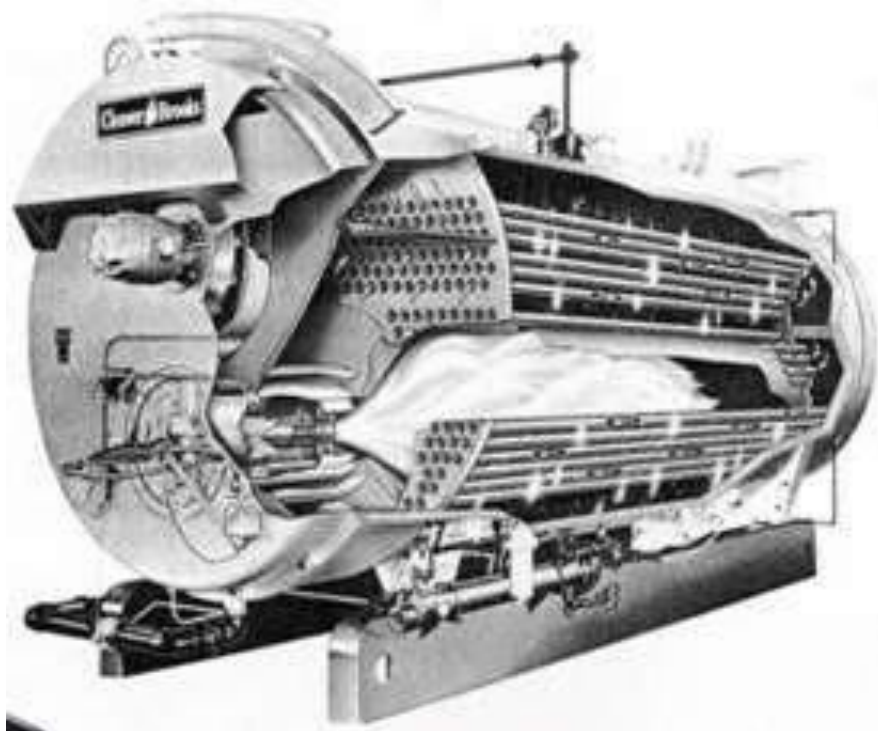
De acuerdo con Cansaya y Huallata (2015):

#### **DEFINICIONES GENERALES Y CLASIFICACIÓN DE CALDERAS**

Las calderas de vapor son unos aparatos en los que se hace hervir agua para producir vapor. El calor necesario para calentar y vaporizar el agua puede ser suministrado por un hogar, por gases calientes recuperados a la salida de otro aparato industrial (horno, por ejemplo), por el fluido refrigerador de una pila atómica, por irradiación solar o por una corriente eléctrica. Cuando el calor es suministrado por el líquido caliente o por vapor que se condensa, se suelen emplear otras denominaciones, tales

como vaporizador y transformador de vapor. El sinónimo generador de vapor se emplea de preferencia cuando se habla de calderas de una cierta importancia. Durante su funcionamiento, la caldera propiamente dicha está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada. Los otros elementos del grupo recorridos por el agua o el vapor, a partir de la bomba de alimentación (economizador, recalentador), están sometidos casi a la misma presión, pero la temperatura del fluido puede ser inferior o superior a la ebullición. (p. 24)

*Figura 1. Típico caldero pirotubular horizontal*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

Una caldera es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión, como se indicó al inicio, no puede aumentar de manera desmesurada, ya

que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión, y la salida del vapor formado.

Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, estas están construidas con metales altamente resistentes a presiones altas, como el acero laminado.

### **CALENTAMIENTO DE EQUIPOS DEL PROCESO**

Uno o más calderos proporcionan el vapor necesario para usarlo en las máquinas y equipos de la planta en el proceso de calentamiento. La combustión siempre produce material de desecho hollín, cenizas, humo. Las trampas de vapor son dispositivos que se colocan después de un equipo para separar el vapor húmedo del vapor saturado esta agua caliente se denomina condensado el mismo retorna al caldero.

### **MANERAS DE CALENTAR CON VAPOR SATURADO**

**Vapor directo:** Inyección directa del vapor al material. Se emplea en lugares donde el condensado no es problema.

**Vapor indirecto:** Se realiza por medio de chaquetas, serpentines intercambiadores. Transmite calor por las paredes del recipiente al fluido paredes, maquinas. El vapor y el condensado no entran en contacto con el material a calentar.

### **APLICACIONES DEL VAPOR SATURADO**

El vapor de agua generado por un caldero tiene múltiples aplicaciones, dependiendo de su presión, temperatura y caudal son:

- Calentamiento de maquinaria y equipos del proceso.
- Generación de fuerza motriz mecánica, por máquinas de vapor.
- Generación de fuerza motriz mecánica por turbinas.
- Generación de energía eléctrica por turbinas.
- Otros usos menores.

### **CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS**

Se clasifican según diversos criterios, relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales, modo de intercambio de calor, la forma del quemado del combustible, forma de alimentación del agua y otros muchos factores.

Basándose en algunos de estos criterios las calderas se pueden clasificar en:

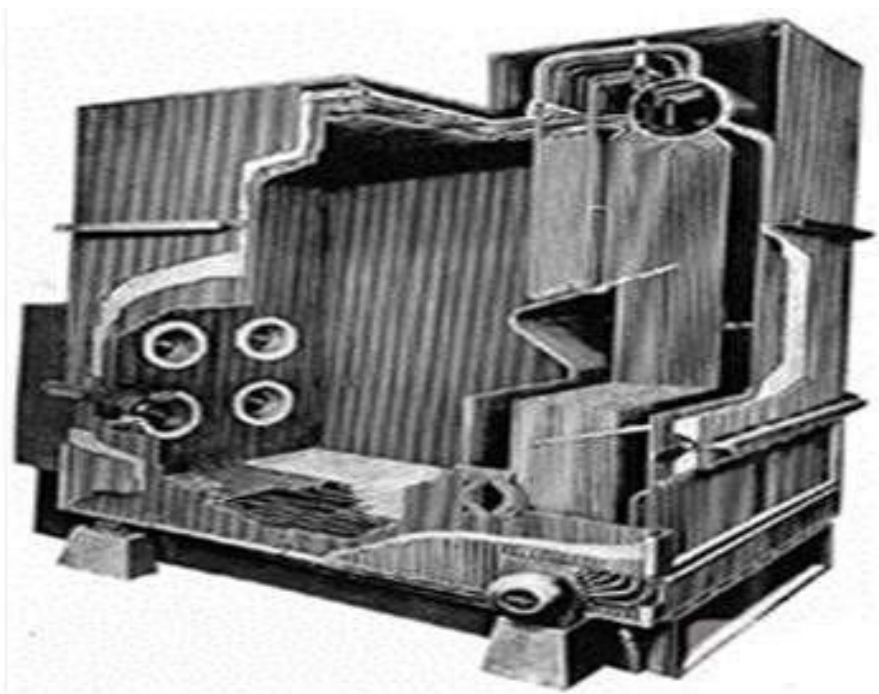
**CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA CIRCULACIÓN DE LOS FLUIDOS DENTRO DE LOS TUBOS DE LA CALDERA:**

**Calderas humo tubulares:**

En estas calderas son los humos los que circulan por dentro de tubos, mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos. Todo este sistema está contenido dentro de un gran cilindro que envuelve el cuerpo de presión.

Los humos salen de la caldera a temperaturas superiores a 70 C de forma que se evita la condensación del vapor de agua que contienen, evitando así problemas de formación de ácidos y de corrosión de la caldera. Al evacuar los humos calientes, se producen pérdidas de energía con la consiguiente bajada del rendimiento de la caldera.

*Figura 2. Caldero pirotubular vertical*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

**Calderas acuotubulares:**

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente en flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la

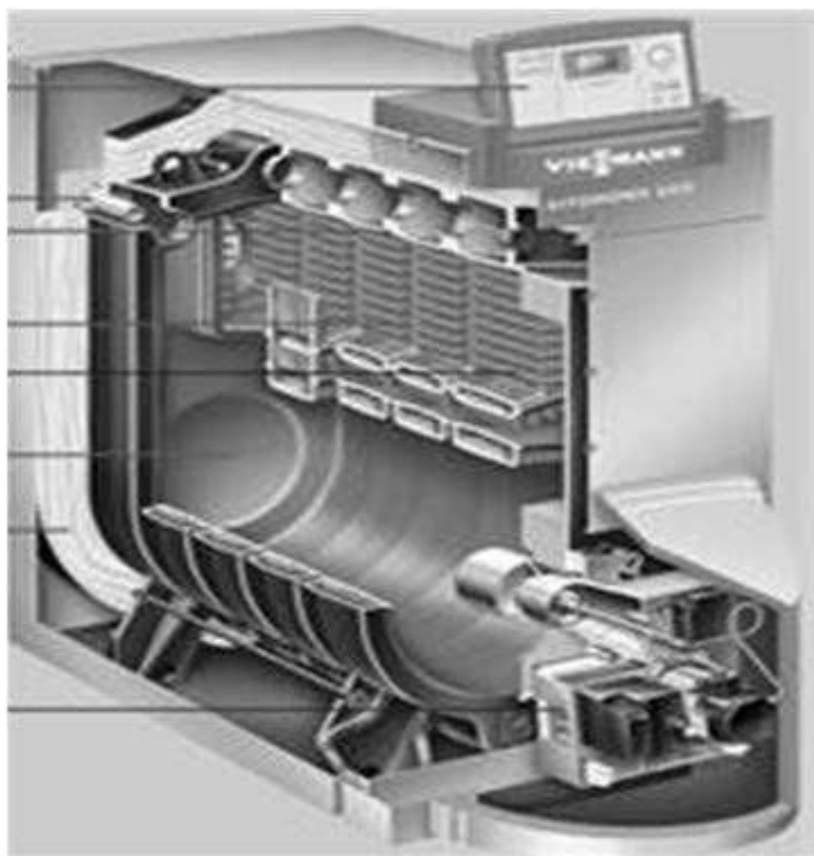
combustión. En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama. En este tipo de calderas es el agua o fluido térmico que se pretende calentar, es la que circula por el interior de los tubos que conforman la cámara de combustión y que están inmersos entre los gases o llamas producidas por la combustión. El vapor o agua caliente se genera dentro de estos tubos.

Existen dos tipos de agrupaciones de tubos, de subida y de bajada que se comunican entre sí en dos domos.

### **Calderas piro-tubulares:**

En este tipo de caldera el humo caliente procedente del hogar circular por el interior de los tubos gases, cambiando de sentido en su trayectoria, hasta salir por la chimenea.

*Figura 3. Típico caldero piro-tubular*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

El calor liberado en el proceso de combustión es transferido a través de las paredes de los tubos al agua que los rodea, quedando todo el conjunto encerrado dentro de una envolvente o carcasa convenientemente calorifugada.

A través de este recorrido, el humo, ceden gran parte de su calor al agua, vaporizándose parte de esta agua y acumulándose en la parte superior del cuerpo en forma de vapor saturado. Esta vaporización parcial del agua es la que provoca el aumento de la presión del interior del recipiente y su visualización en el manómetro.

Su rendimiento global esperado a lo largo de su vida útil no supera el 65% en el mejor de los casos.

Este tipo de generadores, por su diseño no admiten presiones de trabajo elevadas, más allá de las dos o tres atmósferas; son de construcción sencilla y disponen de moderada superficie de intercambio, por lo no se utilizan para elevadas producciones de vapor.

Son en compensación, muy económicos en costo y de instalación sencilla, por lo que su utilización actual primordial es para calefacción y producción de vapor para usos industriales.

### **CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON LA PRESIÓN DE TRABAJO DE LA CALDERA**

**Calderas de baja presión:** Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.

**Calderas de media presión:** Producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm<sup>2</sup>. Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general.

**Calderas de alta presión:** Asociadas a ciclos de potencia, trabajan con presiones de 20 kg/cm<sup>2</sup> hasta presiones cercanas a la crítica.

**Calderas supercríticas:** Son calderas que trabajan con presiones superiores a la crítica: 225,56 ata, 374,15fC. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

## **CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON LA PRODUCCIÓN DE VAPOR**

**Calderas pequeñas:** Producen hasta 1 o 2 toneladas de vapor saturado por hora.

**Calderas medianas:** Producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora.

Las calderas pequeñas y medianas casi en su totalidad son calderas humo tubulares de baja y media presión.

**Calderas grandes:** Calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

## **CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL COMBUSTIBLE UTILIZADO**

**Calderas de combustibles líquidos:** Se fabrican Generadores de Vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos.

Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel y de sistemas de bombeo y transporte.

La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100°C) en los combustibles de baja viscosidad hasta 700 cSt (100°C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En las plantas industriales en general se utilizan combustibles de viscosidad del orden de 380 - 450 cSt (100°C). Es normal tener que precalentarlos a 30 – 40°C para reducir su viscosidad y poder bombearlos hasta los quemadores.

La turbulencia del aire que entra al quemador es importante para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañe las paredes de refractario o las paredes de tubos de agua y al mismo tiempo asegure una combustión completa de todas las gotas de fuel. Para esto es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

**Calderas de combustible gaseosos:** Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

En el caso de tener asociado un gasificador que suministre un gas muy particulado se utilizan cámaras torsionales a fin de aumentar el tiempo de permanencia del combustible en el hogar.

Con los combustibles gaseosos el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante proveer las medidas de seguridad adecuadas. La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos.

Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado, Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas convectivas de la caldera. Son factores que hay que tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo.

**Calderas de combustibles sólidos:** Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), desechos de producción (pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón (en distintos grados de pulverización), etc.

Cada uno requerirá una tecnología apropiada para poder quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores.

En general resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en caleras de combustibles líquidos y gaseosos.

## **PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA**

En este punto se tratarán sólo aquellas partes generales relevantes propias del diseño de las calderas.

Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se analizarán las partes principales de las calderas en forma general, especificando en cada caso el tipo de caldera que dispone de dicho elemento.

### **HOGAR O FOGÓN**

Al mencionar los componentes de una caldera, es necesario señalar que según el tipo de caldera estas pueden contar con otros accesorios, motivo por el cual solo nos referiremos a las partes básicas que componen generalmente una caldera:

- Hogar: Espacio en donde se produce la combustión, también conocida como cámara de combustión. Por otra parte cabe señalar que esta es una de las principales partes de una caldera y puede ubicarse al interior o exterior de la caldera.
- Intercambiador de calor: Dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, es decir para que el agua se caliente; sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.
- Sistema de evacuación de gases procedentes de la combustión.

Por otra parte se puede mencionar que todas las calderas deben disponer de diversos accesorios tales como: quemadores; vaso de expansión; Manómetros; termómetros; líneas de seguridad; válvula de seguridad y llaves de paso y regulación. Además, se pueden mencionar otros accesorios más comunes como son:

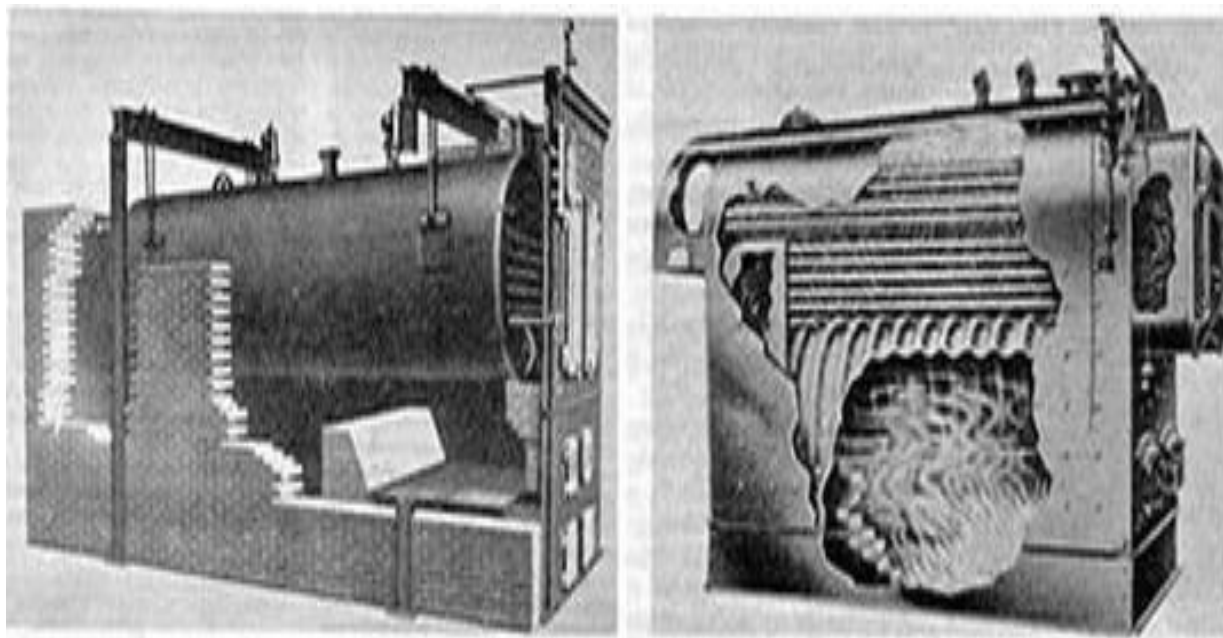
- Accesorios de Observación destinados a observar la operación de la caldera, entre los cuales se encuentran: tubos de nivel; grifos de pruebas; manómetros; termómetros; analizadores de gases.
- Accesorios de Seguridad, destinados a evitar una excesiva presión de generación del vapor en la caldera, entre los que se pueden mencionar: de palanca y contrapeso; de peso directo; de resorte; tapón fusible y sistemas de alarmas.
- Accesorios de alimentación de agua: bomba de alimentación de agua e inyector de agua.

- Accesorios de alimentación de combustible: quemadores para combustibles líquidos y gaseosos; quemadores mecánicos para combustibles sólidos y elementos manuales.
- Accesorios de limpieza: registros o tapas de limpieza; válvulas de purga, estanque de retención de purgas; escariadores y deshollinadores.

#### SEGÚN SU CONSTRUCCIÓN.

- Hogar liso.
- Hogar corrugado.

*Figura 4. Diseños constructivos de calderos*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

#### **PARRILLAS (O EMPARRILLADO).**

Son piezas metálicas en forma de rejas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del "aire primario" que sirve para que se produzca la combustión.

*Figura 5. Ubicación de la puerta hogar del caldero]*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos:

- Deben permitir convenientemente el paso del aire
- Deben permitir que caiga la ceniza
- Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez
- Deben impedir que se junte escoria
- Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no se quemen o deformen.
- Deben ser durables.

### **MAMPOSTERIA**

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

Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor y 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, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

## **CONDUCTOS DE HUMO**

Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma se aprovecha el calor entregado por éstos para calentar el agua y/o producir vapor.

## **CAJA 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.

## **CHIMENEA**

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además, tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

## **REGULADOR DE TIRO O TEMPLADOR**

Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma y que tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente se usa en combinación con la puerta del cenicero.

## **TAPAS DE REGISTRO O PUERTAS DE INSPECCIÓN**

Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera. Existen dos tipos, dependiendo de su tamaño:

- Las puertas hombre (manhole).
- Las tapas de registro (handhole).

La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera. Las tapas de registro por ser de menor tamaño sólo permiten el paso de un brazo.

## **PUERTAS DE EXPLOSIÓN**

Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión.

### **CAMARA DE AGUA**

Es el espacio o volumen de la caldera ocupado por el agua. Tiene un nivel superior máximo y uno inferior mínimo bajo el cual, el agua, nunca debe descender durante el funcionamiento de la caldera.

### **CAMARA DE VAPOR**

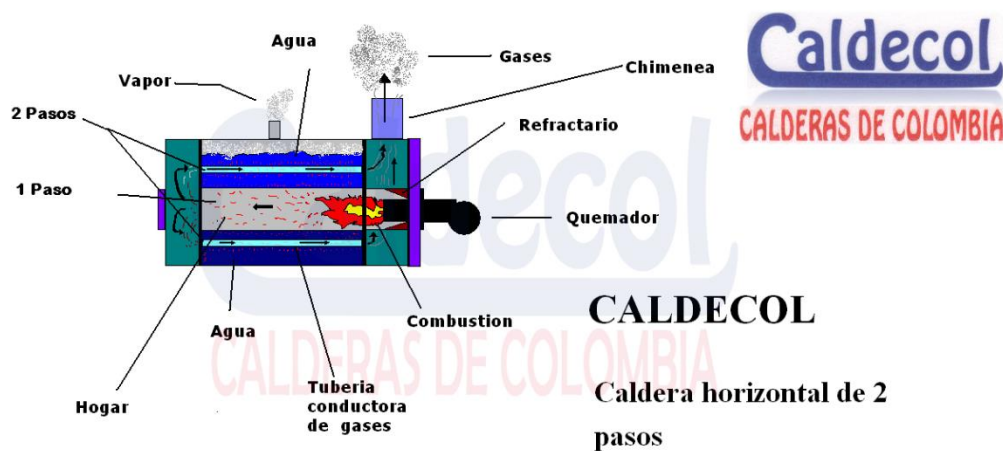
Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

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, llamado " domo" y que contribuye a mejorar la calidad del vapor.

### **CÁMARA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA**

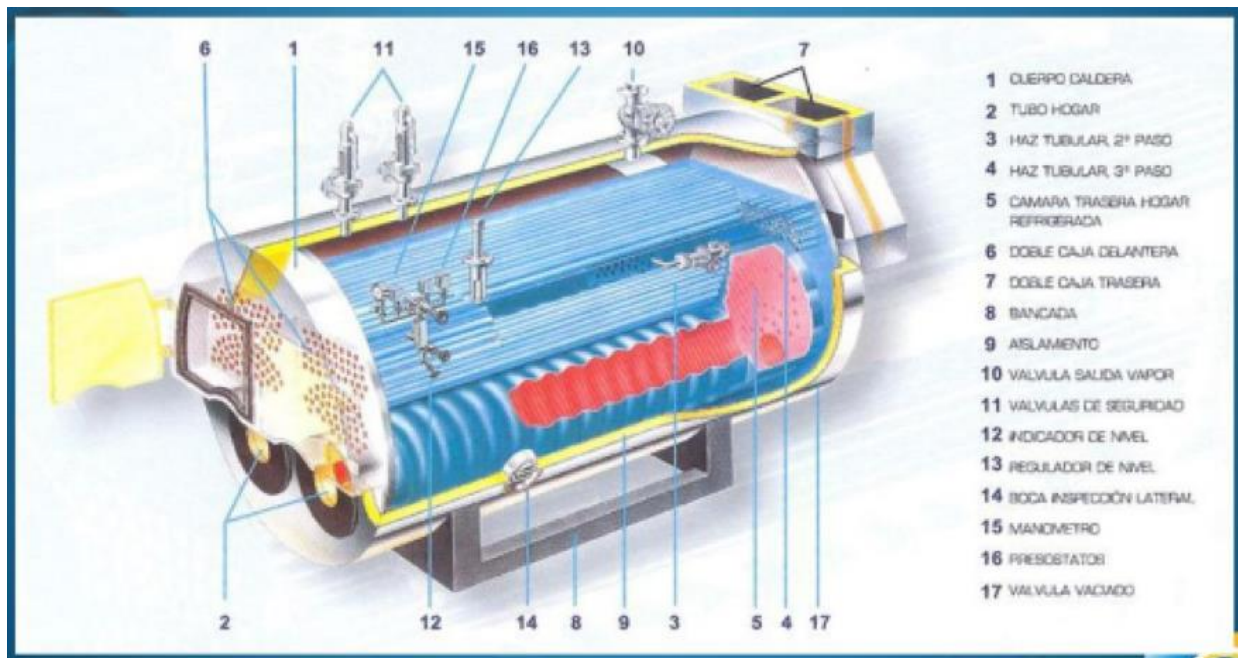
Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la caldera se encuentra ocupada por vapor y/o agua, según sea donde se encuentre el nivel de agua.

*Figura 6. Partes de una Caldera de 2 pasos*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

**Figura 7.** Partes de una caldera de 3 pasos.



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

## SELECCIÓN DE CALDERAS

Para asegurar la selección correcta del equipo para producir vapor (o agua caliente), hay que considerar una serie de variables. Una instalación satisfactoria refleja un alto sentido de responsabilidad; por el contrario, una selección inadecuada ocasiona problemas que a la larga afectan a todos los interesados.

## FACTORES PREDOMINANTES PARA LA SELECCIÓN DE CALDERAS

- Cantidad y tipo de vapor requerido.
- Combustible disponible.
- Exigencias futuras.
- Régimen de consumo.
- Utilización diaria.

## REQUISITOS

Por otra parte, el usuario espera que el equipo reúna ciertos requisitos básicos, que incluyen lo siguiente:

- Seguridad en el servicio.
- Sencillez.

- Bajo costo de adquisición, operación y mantención.
- Servicio adecuado.
- Entrega inmediata.

La gran variedad de diseños y tipos de equipos que se ofrecen en la actualidad, hacen de la selección de la caldera un problema bastante complejo. Pero por otro lado esta abundancia, ha permitido la obtención de una caldera adecuada para cada caso. A continuación, daremos una guía muy general para la selección de calderas basados en los diferentes factores enumerados anteriormente.

Si en una industria se desea instalar una caldera donde se sabe que el consumo es irregular, es decir, que hay momentos de gran demanda alternados con otros de poco o ningún consumo, la caldera más recomendable será una del tipo de gran volumen de agua.

En aquellos casos en que la demanda es pareja en toda la jornada de trabajo, la caldera recomendable será una igneotubular, de tubos múltiples de humo, ya que tienen alto rendimiento y buena producción de vapor.

#### **ACCESORIOS DE CALDERAS**

- Accesorios de Observación.
- Indicadores de producción de vapor.
- Indicadores de consumo de combustible.
- Indicadores de consumo de agua.
- Accesorios de Seguridad.
- Accesorios de alimentación de agua.
- Varios: Sopladores de hollín, limpia tubos mecánicos, atizadores, rastrillos.
- Accesorios de alimentación de combustible
- Accesorios recuperadores de calor
- Economizadores.
- Calentadores de aire.
- Accesorios de control del grado de calentamiento del vapor.
- De sobrecalentadores o saturadores o atemperadores.
- Accesorios de control automático.

- Control de presión o presostato.
- Control de temperatura o termostato.
- Control de bajo nivel de agua.
- Control de aire.
- Control de la llama.

A continuación, se verá en forma más detallada cada uno de los accesorios mencionados:

### **ACCESORIOS DE OBSERVACIÓN INDICADORES DE NIVEL DEL AGUA**

Cada caldera debe tener a lo menos dos indicadores de nivel de agua y, al menos uno debe ser del tipo tubo de vidrio (observación directa). El otro puede ser de grifos o llaves de prueba. El indicador de nivel de agua de observación directa, consiste en dos conexiones de metal, comunicadas una a la cámara de vapor y la otra a la cámara de agua de la caldera.

Exteriormente están unidas por medio de un tubo de vidrio que indica el nivel de agua que hay en el interior de la caldera.

El tubo de nivel de agua debe estar en la parte más visible para el Operador de Caldera. Si está a más de tres metros de altura se debe colocar inclinado hacia adelante para facilitar su visión. Las empaquetaduras de las conexiones deben ajustarse cuando la caldera esta con vapor. Esta operación debe hacerse con mucho cuidado para no quebrar el tubo de vidrio y evitar lesiones por quemaduras.

Cuando cambie el tubo de vidrio o necesite apretar las empaquetaduras, cierre previamente las válvulas de conexión con la caldera. Tenga cuidado de volver a abrir las válvulas una vez que termine la reparación.

### **INDICADORES DE PRESIÓN**

El más usado de ellos es el manómetro, que es un instrumento destinado a medir la presión efectiva que existe dentro de una caldera. Jamás debe operarse una caldera que no tenga el manómetro adecuado y en buenas condiciones El manómetro está conectado a la cámara de vapor de la caldera a través de una cañería curva, con forma U o S, de modo que sobre él actúe agua y no vapor. El objeto de la curva es evitar que llegue vapor vivo al interior del mecanismo, para que no se deforme con el calor y pierda su exactitud. Recomendaciones Generales:

1. La ubicación del manómetro debe ser tal que impida su calentamiento a más de 50 °C exterior.
2. Siempre debe estar marcado con rojo, en la esfera, el punto exacto de la presión máxima autorizada.
3. La capacidad del manómetro debe ser de a lo menos una y media vez la presión autorizada de trabajo (casos prueba hidráulica de la caldera).
4. Entre el manómetro y la caldera debe haber una llave de paso que permita el cambio del instrumento. Esta llave debe estar siempre abierta para evitar falsas indicaciones de presión.
5. La cañería curva debe revisarse periódicamente para evitar acumulación de sedimentos que puedan impedir el libre paso del vapor. Debe eliminarse cualquier filtración en la línea de conexión del manómetro para evitar indicaciones falsas.
6. Debe tenerse la precaución de que el diámetro del manómetro sea el adecuado al tamaño de la caldera.
7. Periódicamente debe controlarse el funcionamiento del manómetro y regularse si es necesario.
8. Reemplazo del Manómetro. No se debe mantener en servicio un manómetro cuando presente alguno de los siguientes defectos:
  - Falta de vidrio o vidrio quebrado.
  - Números de la esfera borrados.
  - Indicación de presión cuando la caldera está fuera de servicio.
  - Llave de conexión no funciona correctamente.
  - Cañería de conexión sin su curva recomendada.

## **INDICADORES DE TEMPERATURA**

Termómetros.- Son instrumentos destinados a medir la temperatura, ya sea del agua de alimentación, del vapor, de los gases de la combustión, del petróleo u otras. Se usa para medir temperaturas de hasta unos 500 ° C.

El termómetro más común es el de Mercurio, ya que éste se expande y contrae considerablemente con los cambios de temperatura sin llegar a congelarse ni

evaporarse. Se puede usar a distancia Usando un tubo capilar Flexible conectado a un Termómetro tipo reloj ubicado en el tablero de Operación.

Pirómetros.- Estos instrumentos se usan para medir temperaturas más altas (sobre 500 °C). Generalmente son del tipo de termocuplas (termopares) que consisten en dos metales diferentes unidos y en contacto cerrado, los que son conectados por conductos eléctricos a un galvanómetro.

La diferencia de voltaje que se produce al calentar dos metales diferentes se indica en un dial en grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F).

### **ACCESORIOS DE SEGURIDAD VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

Tienen por objeto dar salida al vapor de la caldera cuando éste sobrepasa la presión máxima de trabajo. Todas las calderas deben tener una o más válvulas de seguridad.

Las válvulas de seguridad deben ser capaces de dar salida al vapor que produce la caldera, aún sin haber consumo de vapor. Esto debe suceder antes que la presión sobrepase un 10 % de la presión de trabajo autorizada.

La válvula de seguridad debe regularse como máximo a un 6 % sobre la presión autorizada de trabajo. Deben ir conectadas directamente a la cámara de vapor de la caldera, independiente de toda otra conexión o toma de vapor.

### **NORMATIVA CONSTRUCITVA DE UNA CALDERA**

Las siguientes definiciones de caldera generalmente se encuentran en forma de leyes estatales y códigos de caldera referentes a requisitos de instalación o inspección, así como leyes de ingeniería para operar este tipo de equipos.

Una caldera es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de combustibles (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

Una caldera de alta presión es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psig (1,05 kg/cm<sup>2</sup>) manométricos (1,05 atmósferas efectivas o manométricas). Por debajo de esta presión se clasifican como calderas de vapor de baja presión. Las pequeñas calderas de alta presión se denominan calderas miniatura según la normativa de Estados Unidos. De acuerdo a la sección 1 del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineering)

una caldera miniatura de alta presión es una caldera de alta presión que no excede de los límites siguientes: 16" (406,4 mm) de diámetro interior de virola (o chapa envolvente cilíndrica); cinco pies cúbicos (0,1.415 tn<sup>2</sup>) de volumen bruto de virola y aislamiento; y 100 psig (7 kg/cm<sup>2</sup> efectivos o manométricos) de presión. Si se exceden estos límites, se trata de una caldera de potencia. La mayoría de los estados en Estados Unidos siguen esta definición. Los requisitos de la soldadura para estas calderas pequeñas no son tan severos como para las grandes.

Una caldera de potencia es una caldera de vapor de agua o de fluido que trabaja por encima de 15 psig (1,05 kg/cm<sup>2</sup>) y excede el tamaño de una caldera miniatura. Esto

también incluye el calentamiento de agua caliente o calderas de agua caliente que funcionan por encima de 160 psi (11,2 kg/cm<sup>2</sup>) o 250 °F (121,1 °C). Las calderas de potencia también se llaman calderas de alta presión. Una caldera de baja presión se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig (1,05 kg/cm<sup>2</sup>) de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psig (11 kg/cm<sup>2</sup>) o 250 °F (121 °C).

Una caldera de calefacción por agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera y que trabaja a presiones que no exceden de 160 psig (11,2 kg/cm<sup>2</sup>) o de una temperatura de agua no mayor de 250 °F (121 °C) en o cerca de la salida de caldera. Estos tipos de calderas se consideran calderas de calefacción. Una caldera de suministro de agua caliente o, más brevemente dicho, una caldera de agua caliente, está completamente llena de agua y suministra agua caliente para usarse en el exterior de ella (sin retomo) a una presión que no excede de 160 psig (11,2 kg/cm<sup>2</sup>) efectivos o a una temperatura de agua que no pase de 250 (121 °C). Estos tipos de caldera se consideran también calderas de baja presión, construidas según los requisitos de la Sección IV (calderas de calefacción) del código ASME. Si se sobrepasan la presión o temperatura, estas calderas deben diseñarse como calderas de alta presión.

Una caldera de calor perdido utiliza subproductos térmicos como gases de hornos de laminación o siderurgia, gases de escape de una turbina 'Ce gas o

subproductos de un proceso de fabricación. El calor residual se pasa por unas superficies de intercambio térmico para producir vapor o agua caliente para uso convencional. Las mismas normas básicas del código ASME de construcción se aplican a todas calderas de recuperación de calores perdidos al igual que se aplican a las calderas calentadas por combustibles convencionales, y los equipos auxiliares y de seguridad normalmente requeridos en una caldera se precisan también para una unidad de calores perdidos.

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido, mientras que generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básicamente lo mismo. La mayoría de las leyes estatales están aún escritas bajo la vieja nomenclatura básica de calderas.

Una caldera compacta es una caldera completamente montada en fábrica, de tubos de agua, de tubos de humos o de fundición, e incluye quemador, controles y elementos de seguridad. Una caldera montada en fábrica es más barata que una unidad montada en campo, de la misma capacidad de producción de vapor. Mientras que una caldera montada en fábrica no es una caldera fuera de serie, generalmente puede montarse y entregarse mucho más rápidamente que una caldera montada en campo, los tiempos de instalación y puesta en marcha son sustancialmente más cortos. Los trabajos realizados en fábrica normalmente pueden ser mejor supervisados y realizados a coste más bajo.

Una caldera supercrítica o hipercrítica funciona por encima de la presión crítica absoluta de 3206,2 psi (224,43 kg/cm<sup>2</sup>) y 705,4 °F (374 °C) de temperatura de saturación. El vapor y el agua tienen una presión crítica de 224,43 kg/cm<sup>2</sup>. A esta presión el vapor y el agua tienen la misma densidad, lo que significa que el vapor está comprimido tan intensamente como el agua. Cuando esta mezcla se calienta por encima de la temperatura de saturación correspondiente (de 705,4 °F (374,1 °C)) para esta presión, se produce vapor seco sobrecalentado capaz de realizar trabajo útil por su presión elevada. Este vapor seco está especialmente indicado para mover turbogeneradores. N. del T.: En España, pertenecientes a la categoría C.

Las calderas de presión supercríticas son de dos tipos: de paso directo y de recirculación. Ambos tipos operan en el rango por encima de los 224,43 kg/cm<sup>2</sup> y 374 °C. En este rango las propiedades del líquido y del vapor saturado son idénticas; no hay cambio en la fase líquido-vapor por lo que no existe nivel del agua y, por lo tanto, no se precisa calderín.

### **ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON NORMATIVA**

Código ASME de Calderas. El código ASME de Calderas y el Código de inspección del National Board, Asociación Nacional de inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, en Estados Unidos, son una fuente importante de documentos para requisitos legales en los diversos estados y municipalidades que han adoptado leyes de seguridad de calderas. Adicionalmente, sirven para mantener activos los comités de calderas y recipientes a presión en orden a tener los códigos publicados al día con la tecnología en avance, así como las ediciones sucesivas del código ASME para fabricantes cualificados, montadores, suministradores de material y propietarios de plantas de energía nuclear con los sellos y marcas de código indicando que el fabricante ha recibido autorización de ASME para construir calderas y recipientes a presión según la citada normativa ASME.

Un requisito fundamental del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión, para ser aprobado oficialmente y designado con el sello ASME, es que se debe sufrir una inspección por parte de un tercer organismo autorizado. Durante la construcción para cumplir con los requisitos normativos en vigor. La mayoría de las inspecciones por terceros son llevadas a cabo por inspectores autorizados de calderas y recipientes a presión que tienen experiencia adecuada y han pasado por un examen escrito en una jurisdicción. Deben estar empleados bien por el Estado o bien por una compañía de seguros autorizada para suscribir seguros de calderas y recipientes o presión en la jurisdicción donde se va a construir la caldera o recipiente a presión, y en algunos casos la situación de la instalación también debe considerarse.

Como requisitos uniformes para los inspectores que han sido inspirados e implementados por el National Board de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, una caldera o recipiente a presión inspeccionada por un inspector

acreditado adecuadamente por el National Board será, generalmente, aceptada por todas las jurisdicciones.

El fabricante o contratista que desee construir o montar calderas o recipientes a presión bajo la garantía de un certificado de autorización ASME debe primero ponerse de acuerdo con una agencia de inspección autorizada cuyas inspecciones serán llevadas a cabo por la agencia. Esto usualmente se arregla por ambas partes firmando un contrato por el trabajo de inspección realizado en base a unos derechos de la Agencia Fedataria.

la lista los sellos a estampar editados por ASME para calderas, recipientes a presión no caldeados, calentadores de almacenaje (acumuladores) de agua, tuberías de energía y válvulas de seguridad. ASME puede suministrar detalles a los fabricantes sobre qué sellos pueden requerirse cuando se consideran componentes de fabricación como los representados por estos sellos o estampas (en alemán, «stelpen»).

El código ASME utilizado como referencia en la fabricación de este proyecto va a ser el siguiente: Código ASME para calderas y recipientes a presión versión VIII de 2013

### **NATIONAL BOARD**

Ente Inspector de Calderas y Recipientes a Presión. El Comité Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión está compuesto por los Inspectores Jefes de los estados y municipios de los Estados Unidos y provincias canadienses. Esta organización ha establecido criterios para los requisitos de experiencia de los inspectores de calderas, la promoción y conducción de exámenes uniformes y las pruebas que son utilizadas por las jurisdicciones. El NB edita comisiones para los inspectores que pasen un examen NB que son aceptados sobre una base recíproca por la mayoría de las jurisdicciones, dando así una característica de «al portador» a la credencial. La organización NB también edita un sello, denominado sello «R» para organizaciones que deseen ser certificadas como «reparadores» normalizados. Esto también se aplica a las reparaciones de válvulas de seguridad y reparaciones de vasijas nucleares a presión que también merecen un sello separado de la NB. Los inspectores de la NB deben obtener un certificado de competencia NB, que cualifica

al inspector para efectuar inspecciones de campo in situ para una jurisdicción sobre la base de obtener un mandato jurisdiccional o comisión para realizar estas inspecciones de calderas y recipientes a presión.

Los que emplean a los inspectores comisionados NB deben calificarse como agencias de inspección autorizadas (en España hay entidades colaboradoras del Ministerio de Industria que realizan comisionadas estas tareas y se denominan ENICRES). Éstos son en Estados Unidos cuerpos jurisdiccionales o autorizados o compañías de seguros con licencia para ello. El inspector debe ser contratado por estas agencias por razones de responsabilidad técnica y financiera bajo la presente normativa codificada. Así existen tres tipos de inspectores comisionados. Estos inspectores hacen los informes e inspecciones legales a una o en una jurisdicción en el sentido de que una caldera o recipiente a presión es segura o insegura para trabajar o de que requiere unas reparaciones antes de poder operarse.

Otras organizaciones de aprobación. Estas organizaciones están relacionadas con todas las clases de riesgos potenciales de incendios o seguridad eléctrica. Así sus etiquetas aparecerán sobre transportes (trasiegos) de combustibles emplazados en el lugar de funcionamiento de calderas y sobre controles y cableados eléctricos. Muchas jurisdicciones y códigos contra incendios hacen referencia a estas etiquetas de cuerpos u organismos de aprobación y control legal; por otra parte estas normativas son importantes en la instalación de calderas. Underwriters Laboratory, UL (Laboratorio de asegurados), es una entidad activa en Estados Unidos en la aprobación de equipo eléctrico para diferentes aplicaciones de normativa establecida de seguridad y, si el producto las cumple satisfactoriamente, se le aplica la etiqueta

#### **UL.**

Laboratorios Factory Mutual, FM, aprueba equipo sometido por fabricantes y también aprueba instalaciones finales, como conjuntos de combustión, si la instalación satisface sus normas y requisitos.

#### **CERTIFICACIÓN ISO 9000.**

Ésta es una serie internacional de normas de gestión de control de calidad publicadas en 1987 por la organización internacional para la normalización (ISO). Las

compañías europeas han sido líderes en adoptar este sistema de gestión de control de calidad que establece un programa de control de calidad, un sistema manual y los medios o controles para establecer los requisitos. La ISO 9000 es paralela al código ASME en muchos casos para calderas y recipientes a presión y para documentación de componentes nucleares.

Una organización debe seleccionar la serie en que desea el certificado [ver tabla 1]. Esto puede incluir su operación o trabajo total, o puede solucionarse en áreas particulares para su certificación. Los registradores reconocidos por las auditoras preparan un informe de sus hallazgos para un comité equilibrado compuesto de representantes de industrias similares. El comité decide si una aplicación para acreditar una organización. aprobada y el registrador después emite un certificado de registro para el aplicante. Este certificado detalla el alcance de la actividad del programa del aplicante, al cual se aplica la serie 9000.

**Tabla 1.** Aplicación de las normas ISO

<b>Norma</b>	<b>Aplicación</b>
ISO 9000 Listado.	Responsabilidad de gestión, principios del sistema de calidad, control y diseño de material, procedimientos de inspección y prueba, adecuación del equipo de medida y pruebas, manejo, almacenaje y entrega, control de documentación, control de calderas, adiestramiento, métodos estadísticos utilizados, procedimientos de auditoría interna, marketing de calidad, control de compras, control de procesos, control de producción, procedimientos de acción colectiva, control de investigación y desarrollo, servicio posventa, seguridad y garantía del producto.
ISO 9001 Actividad.	Diseño, producción, instalación y servicio de producto.
ISO 9002 Actividad.	Se aplica solo a producción e instalación.
ISO 9003 Actividad.	Se aplica solo a inspección formal y pruebas.
ISO 9004 Actividad.	Se aplica a la gestión de calidad y sistema de elementos necesarios para desarrollar y establecer un sistema para la actividad de calderas. Esto comprende y determina la extensión en la que a cada sistema elemental se aplica la actividad.

Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

Auditorías periódicas se realizan por registradores externos para confirmar que la serie ISO 9000 de requisitos esté siendo cumplida y mantenida. En los Estados Unidos, grupos de auditores están listados por la Oficina Federal del Gobierno, el Instituto Nacional de Normas y Pruebas (N y ST) en Washington, DC, para certificar. La ISO correspondiente tiene una lista de cuerpos de certificación que suministran la calificación y ayuda estatal de los registros.

Regulaciones medioambientales. Las regulaciones estatales, federales y municipales afectan a los operadores de una planta de calderas. Los sistemas de combustión para caldera y sistemas de energía nuclear tienen que cumplir unos requisitos para su diseño y operación, de forma que el aire, agua y residuos finales de esta planta tengan efectos mínimos sobre el medio ambiente. Las reglamentaciones generales que pueden merecer revisión por los operarios de plantas de calderas incluyen el acta de aire limpio, acta de agua limpia, regulaciones concernientes a la disposición de residuos de riesgo, PCBs, depósitos de almacenaje subterráneo con líquidos o gases peligrosos y asbesto (amianto).

Las calderas que utilizan combustibles fósiles deben ser operadas para poder controlar la cantidad de dióxido de azufre y óxido de carbono emitido a la atmósfera. La monitorización continua de emisiones de estos contaminantes se necesita ahora en las grandes calderas. La monitorización de la radiación y descarga térmica a los ríos o corrientes de agua se exige en centrales nucleares porque éstas producen más descarga térmica por unidad de potencia que las plantas de combustible fósil. Como resultado, durante el tiempo cálido, algunas centrales nucleares deben limitar su carga para evitar la violación de los límites de temperatura en las descargas térmicas impuestos por las agencias de regulación.

Los supervisores de las plantas de calderas deberían estar familiarizados con estas normas y reglamentaciones, porque ayudarán a mantener un ambiente de trabajo seguro. Por ejemplo, las normas de trabajo en espacios cerrados o confinados de la OSHA incluyen:

- Primeras evaluaciones de temperaturas y oxígeno permitidas en espacios cerrados o confinados antes de entrar en ellos.

- Procedimientos de suministrar ayuda de emergencia para una persona que esté en un espacio cerrado o confinado.
- Precauciones del puesto próximo a la entrada de un espacio cerrado o confinado.

Los requisitos legales sobre equipos de calderas y plantas de energía nuclear no están ya limitados a las normas de establecimiento de una construcción segura. Han sido ampliados a los requisitos sobre controles, dispositivos para evitar explosiones del hogar y sobre medidas para limitar la polución del aire y la contaminación radiactiva. La propiedad y los operarios deben, periódicamente, revisar sus prácticas de operación y mantenimiento en orden a estar seguros de cumplir con estos requisitos legales adicionales de la jurisdicción en la que el equipo está situado.

### **FABRICACIÓN DE CALDERAS POR SOLDADURA Y TECNICAS NO DESTRUCTIVAS**

Hay muchas fuentes documentales que proporcionan detalles, incluyendo requisitos de soldadura, para la construcción de calderas, recipientes a presión y vasijas nucleares. Cada sección del código tiene un capítulo sobre requisitos de soldadura. Por ejemplo, la Sección I, Calderas de potencia, tiene la parte PW titulada “calderas soldadas, que proporciona algunos requisitos para juntas soldadas y pruebas no destructivas que deben aplicarse como seguro de calidad de que una soldadura consistente ha sido realizada sobre un material de ese capítulo comprenden:

Sección V, código ASME, Examen no destructivo, que proporciona detalles y requerimientos para los diferentes métodos no destructivos (NDT).

Sección IX, Soldadura y calificaciones de refuerzos para soldadores, operadores y procedimientos de soldadura.

ASNT's SNT-TC-1A, Práctica recomendada para cualificación y certificación de personal NDT. Esto proporciona detalles sobre calificación de los tres niveles de clasificación reconocidos por esta vía.

La sociedad americana para ensayos no destructivos, ASNT, ha publicado ahora otro nuevo documento para complementar la guía maestra SNT-TC-1ª mediante una norma de cumplimiento absoluto, y no una guía, llamada ANSI/ASNTCP-189-1991 y titulada «norma para calificación y participación del personal de pruebas no

destructivas». Esto exige certificado de técnicas NDT al personal para la normativa reconocida.

**CONEXIONES ROSCADAS Y EXPANDIDAS.** El Código permite conexiones roscadas para la utilización en uniones de piezas de caldera, pero están limitadas a diámetros de tubo de 3" (75mm), y no pueden utilizarse para presiones de más de 100 psi (7kg/cm<sup>2</sup>).

Las uniones por expansión son usadas en tuberías, pero no pueden excederse de 6" (150mm) de diámetro exterior.

**UNIONES POR SOLDADURA.** La soldadura es el método clave empleado en la fabricación de calderas y recipientes de presión. Los materiales utilizados en la construcción de calderas de potencia y piezas sometidas a presión deben limitarse en aquella sección como material admisible y con la especificación correspondiente como se lista en la Sección II del Código. El acero al carbono o aleado teniendo un contenido de carbono de más del 0.35 por 100 no puede utilizarse en construcción soldada. La soldadura requiere ciertos procedimientos, y los operarios y soldadores deben estar cualificados en orden a poder cumplir la normativa de soldadura. La NB (National Board) de inspectores exige también que la soldadura esté calificada según el Código siempre que se realizan reparaciones sobre piezas a presión. Los contratistas o reparadores pueden obtener un sello «R» de la NB si sus organizaciones pueden demostrar el cumplimiento de los requisitos de reparación NB.

El personal de operación de calderas de mantenimiento y de inspección debería tener conocimiento de trabajo del código de soldadura, porque este se ha convertido en requisito legal en muchas jurisdicciones que han adoptado los requisitos del código ASME o normas NB para reparaciones permitidas.

Métodos de soldadura. La soldadura se define como una unión por coalescencia localizada (fusión conjunta) o consolidación del metal donde se realiza una unión por calentamiento a temperatura de fusión, con o sin la aplicación de presión, y con o sin la utilización de material de relleno. El material de relleno, cuando se usa, debe tener propiedades próximas a las del metal de base, incluyendo el punto de fusión. La soldadura es aquella parte que ha sido fundida junta durante

el proceso de soldadura. La junta soldada es la unión de dos o más metales producida por el proceso de soldadura. Refuerzo soldado es metal soldado en exceso sobre el estrictamente necesario para rellenar una junta y para soldar a tope la rotura o surco acanalado. Es el metal de soldadura depositada más allá de la base nivelada o superficie metálica de base lo que se considera refuerzo.

El refuerzo de soldadura está permitido por la Sección I como ayuda para tener una penetración completa de junta de los metales que están siendo soldados. Sin embargo, el Código limita la altura del proceso, dependiendo del espesor de la chapa. Por ejemplo, para un rango de espesor de chapa de 2" a 3" (50 a 75mm), el máximo refuerzo es de alrededor de 1/4" (6.25mm). El Código también exige que las superficies a soldar estén libres de estrías gruesas, surcos, solapes, lomos y valles o hendiduras para evitar la concentración de tensiones. La superficie de la soldadura deberá también ser correcta y adecuada para que pueda hacerse una buena interpretación de las pruebas radiográficas y otros test NDT que puedan ser realizados. El amolado del exceso de refuerzo de soldadura se aplica normalmente cuando las interpretaciones de las técnicas NDT a la junta puedan presentar dificultades. Los anillos traseros si se usan sobre una junta o unión longitudinal de un tubo, virola o calderín, deben retirarse.

Los anillos traseros de una junta circunferencial pueden no tener que retirarse si se cumplen y no se exceden ciertos tamaños normalizados, y siempre y cuando no se requiera un examen radiográfico de la junta.

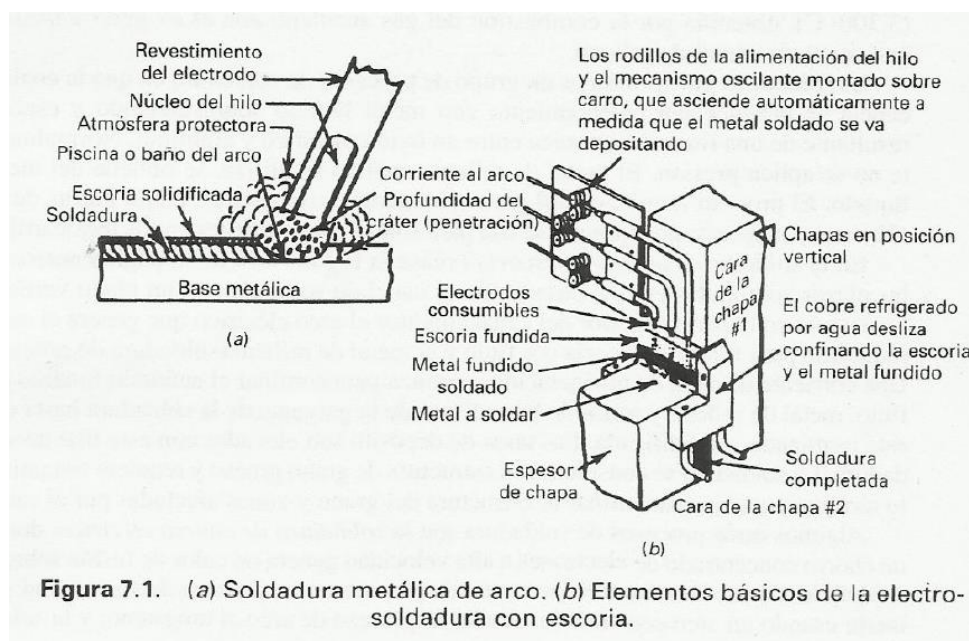
El método más común de soldadura de piezas a presión es por fusión del metal, siendo suministrado el calor por uno de los distintos métodos. La soldadura al arco, soldadura por gas y soldadura con termita están clasificadas como soldaduras de fusión, pero la soldadura al arco eléctrico es la más corriente.

La soldadura de arco es una fusión localizada y progresiva de los bordes unidos y presentados juntos para que fluya dicha soldadura sobre las partes metálicas base, y causada por el calor producido por un arco eléctrico entre un electrodo de metálico o varilla y el metal de base. Ambos, el material soldadura (electrodo o varilla de soldar) y el metal adyacente de base, son fundidos por el arco. Al enfriar, se solidifican, uniendo así las dos piezas con un material continuo.

En la soldadura metálica de arco, las varillas de soldadura pueden ser de dos tipos: electrodos desnudos y electrodos revestidos. La soldadura de arco en tramo liso o Llano utiliza electrodos desnudos. La soldadura de arco con escudo o protección utiliza electrodos revestidos. La razón es que el flujo o revestimiento sobre el electrodo protege al metal depositado de la oxidación (Fig. 4.1a). Así, a medida que el electrodo funde, se obtiene una soldadura más fiable que con electrodos desnudos. La soldadura metálica de arco protegido se conoce previamente con el nombre de SMAW.

Los electrodos revestidos proporcionan un gas protector para proteger la soldadura de la contaminación de la atmósfera, como oxígeno, humedad y dióxido de carbono. Estos contaminantes puedan producir porosidad, formación de grietas y burbujas de óxido de la soldadura. El gas protector se utiliza en la soldadura de arco de gas at tungsteno, soldadura de arco con gases metálicos y procesos similares que emplean electrodos desnudos de material de relleno. El gas de purga se utiliza para reemplazar el aire no deseado y otros vapores contaminantes y proteger la raíz de la soldadura sustituyéndolos por un gas que proteja de la oxidación durante la soldadura.

**Figura 8.** Soldadura metálica de arco



Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

Se utiliza el argón para hacer de escudo protector, así como el helio. Este sistema se recomienda cuando se suelda acero inoxidable, aleaciones de níquel y la mayoría de los metales no ferrosos. En la soldadura de arco sumergido, la coalescencia (fusión conjunta) se produce por calentamiento con un arco o arcos eléctricos entre un electrodo de metal desnudo y el metal de trabajo. La soldadura está protegida por el flujo, que es una protección de material granular, fusible sobre el trabajo a soldar. No se utiliza presión y el material de relleno se obtiene del electrodo o a veces por una varilla suplementaria de soldadura.

En la soldadura al arco de tungsteno, la coalescencia se produce por calentamiento con un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el trabajo o base. La protección se obtiene de un gas o mezcla de gases (que puede contener un gas inerte). El metal de relleno normalmente se añade por separado del electrodo. Este proceso se llama también soldadura de tungsteno al gas inerte (TIG). Si no se utiliza metal de relleno, el proceso se denomina también soldadura autógena. Los electrodos de tungsteno se clasifican sobre la base de su composición química como: de tungsteno puro, electrodo de tungsteno zirconiado, electrodo de tungsteno al boro, y así sucesivamente. La AWS (sociedad americana de la soldadura) ha desarrollado un sistema de marcaje y numeración para los diferentes tipos, desde EWP a EWG, incluyendo colores de marcaje que van del verde al gris.

La soldadura por gas es un grupo de procesos de soldadura en los cuales la coalescencia se produce por calentamiento con una llama o llamas de gas con o sin aplicación de presión. El material de relleno se añade (normalmente) a los metales de base calentados que se van a soldar. La soldadura oxiacetilénica es un proceso de soldadura por gas en el que la coalescencia se produce por calentamiento con una llama a cerca de 6.000 °F (3.300 °C), obtenida por la combustión del gas acetileno con el oxígeno a medida que se añade metal de relleno.

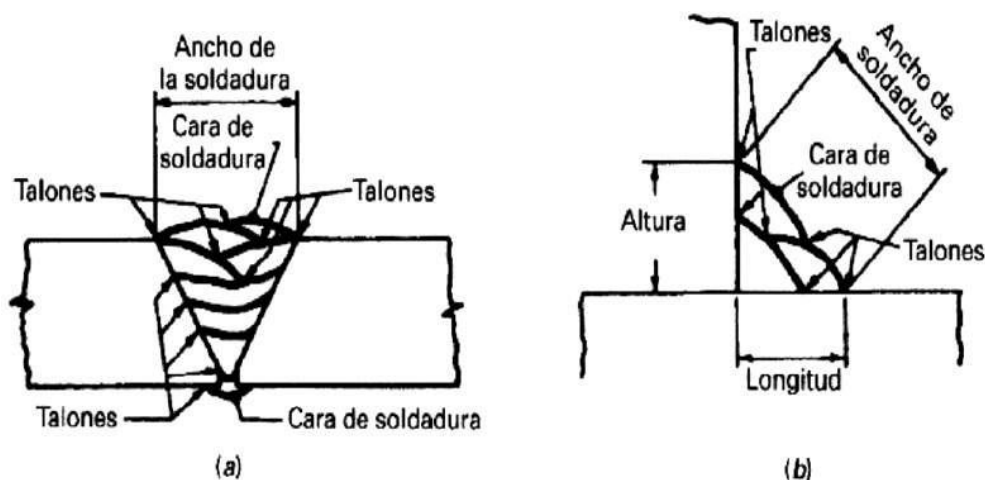
La soldadura por termita es un grupo de procesos de soldadura en que la coalescencia se produce por calentamiento con metal líquido sobrecalentado y escoria resultante de una reacción química entre un óxido metálico y aluminio. Normalmente no se aplica presión. El metal de relleno, cuando se utiliza, se obtiene del metal líquido. El proceso termita es útil para soldaduras muy pesadas, como

piezas de 3" (76 mm) y mayores; por ejemplo se usa para soldadura de carriles en los ferrocarriles.

En la soldadura con electro escoria (véase la Figura 4.1b), las piezas son unidas en una pasada con el canal de soldadura en un plano vertical. La escoria en la parte superior del canal conduce el arco eléctrico que genera el calor requerido para fundir la escoria por flujo y el metal de relleno (soldadura de relleno). Una corriente de agua de refrigeración se utiliza para confinar el acúmulo fundido del flujo, metal de relleno y metal de base dentro de la garganta de la soldadura hasta que esté terminada y solidificada. Las tasas de depósito son elevadas con este tipo de soldadura. La soldadura se considera con estructura de grano grueso y requiere tratamiento térmico posterior para afinar la estructura del grano y zonas afectadas por el calor.

**SOLDADURA A TOPE DOBLE.** En la soldadura a tope doble, el metal se deposita en la garganta de la soldadura por ambos lados de la chapa, mientras que en la soldadura a simple tope el metal se deposita solo en un lado. La soldadura a tope sobre juntas longitudinales de calderines siempre está permitida, supuesto que se usa una banda o pletina para asegurar una penetración total de la soldadura en la junta. Pero la soldadura a tope simple puede usarse solamente donde el interior (la cara interior) de la soldadura donde es inaccesible para el soldador. Sobre juntas de unión longitudinales, la pletina dorsal debe retirarse.

*Figura 9. Terminología de la soldadura para soldadura a tope y con material de relleno.*

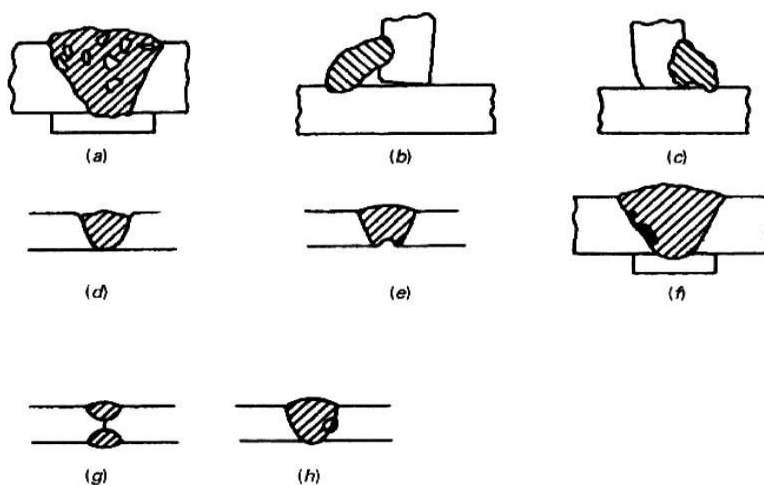


*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

Después de que la primera cara de una doble junta soldada ha sido efectuada, la segunda cara debería limpiarse, amolarse (desgastar o pulir con muela) o limpiarse por fusión para asegurar una superficie limpia de forma adecuada, para asegurar la fusión del metal soldado sobre este lado, sin porosidad, escorias o poros. Los metales de base deberán estar limpios y libres de grasa, óxido o pintura u otras sustancias extrañas. A veces, antes de soldar, se especifica limpiar los metales base con una capa de aceite de linaza.

**PROBLEMAS DE SOLDADURA.** Hay ciertos problemas de soldadura que los buenos procedimientos de soldadura y soldadores expertos tratan de evitar. La Figura 4.3 lista algunos defectos comunes de soldadura y los pasos a tomar para evitarlos. Un problema muy común es el de las inclusiones de escoria. Esta es un material sólido no metálico atrapado en una soldadura o entre el metal base y la soldadura metálica. La escoria es perjudicial porque impide y aminora la resistencia de una unión soldada basada en las características del metal. La porosidad de una soldadura son los vacíos o bolsas de gas dejados en ella, como resultado de un proceso incorrecto o de dificultades durante dicho proceso. Cuando tiene lugar la fusión, los metales de base soldados están afectados en una zona denominada zona afectada por el calor (HAZ). La zona afectada por el calor es aquella zona del metal de base que no ha sido fundida pero donde las posibles propiedades estructurales del metal base han sido alteradas por el calor de soldadura (o corte).

*Figura 10. Algunos defectos de soldadura:*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

La tensión residual es aquella tensión interna remanente en el metal fundido y materiales adyacentes de base cuando se ha realizado una soldadura. Ha sido causada por el alto calor concentrado en la soldadura comparado con el del metal más frío. Esto es la sede de un gradiente térmico, que lleva a una dilatación y contracción no uniformes, lo que induce tensiones internas en la soldadura. El martilleo y el tratamiento térmico reducirán las tensiones residuales. Esto se denomina descarga de tensiones o tratamiento térmico posterior a la soldadura.

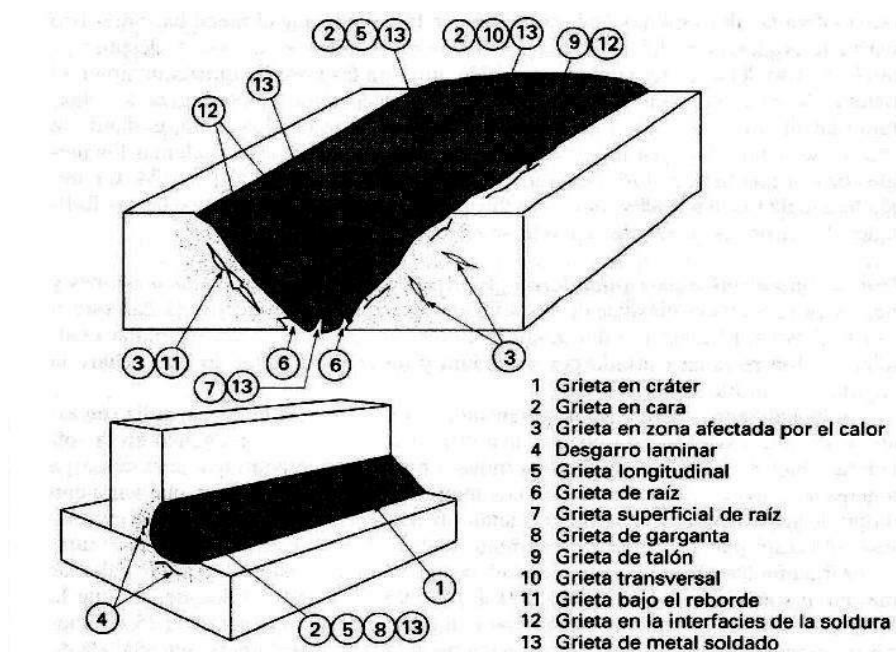
Las grietas en las soldaduras se ilustran en la Figura 4.4 y son causadas normalmente por alguna forma de dilatación y contracción durante la soldadura. Sin embargo, cada tipo de grieta tiene sus causas específicas, incluso aunque las grietas se dividen en dos categorías: 1) grietas en caliente que ocurren antes de la solidificación de la soldadura, y 2) grietas en frío que tienen lugar después de que la solidificación ha terminado. Las grietas no están permitidas por el Código en la soldadura, porque este tipo de discontinuidad tiene la capacidad de propagarse y producir serios fallos en piezas sometidas a presión. Las grietas son también producidas por cambios metalúrgicos en el proceso de soldadura que hacen frágil a la junta soldada, especialmente en la zona afectada por el calor de la soldadura. La capacidad de formar una estructura frágil en la HAZ aumenta a medida que lo hace el contenido de carbono y aleación del metal base, porque el alto contenido de carbono aumenta la dureza y disminuye la ductilidad de la HAZ.

Este tipo de grieta puede ser evitado usando electrodos de bajo contenido de hidrógeno, utilizando el precaldeo y realizando una buena preparación y limpieza de la junta a soldar, dejándola libre de humedad, grasa, aceite y cualquier otro compuesto hidrocarbonado. En muchos casos debe usarse un tratamiento térmico después de realizada la soldadura.

Los defectos en soldadura normalmente pueden repararse por amolado, lijado de la sección defectuosa (vacíos, grietas térmicas, falta de penetración, etc.) para sanear el metal y después volver a soldar. Generalmente deben usarse ensayos o pruebas no destructivas para estar seguro de que la sección defectuosa ha sido totalmente eliminada; la reparación también tiene que comprobarse por ensayos no destructivos. Las aberturas o agujeros (de hombre) están permitidos en

las uniones de calderas soldadas. Sin embargo, la soldadura debe haber sido descargada de tensiones y radiografiada y la soldadura de la abertura debe examinarse para comprobar la no existencia de grietas en ambos lados por el método de partículas magnéticas.

**Figura 11.** Las grietas en las soldaduras tienen múltiples causal



Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

### PRECALENTAMIENTO.

El precalentamiento se recomienda por los ingenieros de soldadura para los aceros aleados en orden a reducir el nivel de diferencia térmica que existe entre el metal base de la zona próxima a la soldadura y el baño de soldadura. Esto evitara posibles grietas en la soldadura en la medida que el metal base más frío resista la contracción del metal de la soldadura cuando se caliente y después se enfríe. El uso del precalentamiento también aminora las tasas de enfriamiento en el metal de la soldadura y en la HAZ, produciendo una estructura metalúrgica de soldadura más dúctil y haciendo que el hidrogeno se difunda o salga fuera, evitando la rotura o agrietamiento por hidrógeno. El precalentamiento implica calentar los metales base a una temperatura de alrededor de 150 °F a 400 °F (65 °C a 204 °C), dependiendo

de los materiales soldados, antes de la soldadura. Esto reduce las posibilidades de tensiones residuales cuando se efectúe la misma.

### **TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA.**

Este procedimiento aminora las tensiones y mejora la resistencia elástica de las soldaduras metálicas de aceros al carbono y aceros aleados. El concepto del tratamiento térmico post-soldadura es relajar cualquier tensión residual causada por soldadura y temple del metal, lo que evitará la fragilidad y rotura.

Adicionalmente a la relajación de tensiones, el post-calentamiento se utiliza en los aceros de aleación baja Para obtener una estructura de grano homogéneo en la soldadura y metal base por tratamiento térmico a mayor temperatura que Para descarga de tensiones, lo que puede ser seguido de temple a temperatura menor, que varía con el tipo de acero. Dependiendo de los metales bases implicadas, el tratamiento térmico post-soldadura puede mejorar, no cambiar nada o degradar la tenacidad de rotura.

El tratamiento térmico post-soldadura o relajación de tensiones requiere calentar una unión soldada de 1.100 °F a 1.200 °F (de 593 °C a 649 °C) después de que la unión esté soldada y mantener esta temperatura durante una hora por cada 25 milímetros de espesor. Todo el recipiente o solamente la unión soldada debe ser relajada de tensiones. Es una práctica común completar todas las soldaduras y después rebajar las tensiones de todo el recipiente. La descarga de tensiones afecta a la estructura metálica en su forma cristalina y así reduce la concentración de tensiones residuales en la soldadura. Después de que se ha mantenido la temperatura requerida por el tiempo especificado, el enfriamiento hasta 600 °F (315 °C) debe ser gradual, después de lo cual el metal puede ser enfriado hasta la temperatura ambiente. El martilleo, es un trabajo mecánico del metal por medio de golpes de martillo de modo que se reduzcan las tensiones residuales de una junta soldada producida por el calor de soldadura.

### **CONSIDERACIONES METALÚRGICAS.**

Algunas consideraciones metalúrgicas puede hacerse cuando uno contempla un proceso de soldadura. Deben tenerse en cuenta las siguientes:

- Soldabilidad de las piezas a unir. El Código puede imponer restricciones severas.
- Condiciones de superficies necesarias y compatibilidad de las propiedades químicas y mecánicas de los metales base al proceso de soldadura que se está utilizando. La humedad de la superficie de los metales ferrosos así como en el electrodo puede dar lugar a porosidad y grietas por hidrógeno en forma de burbujas.
- La semejanza de los materiales de relleno o electrodos y los metales de base para evitar posible fragilidad de la soldadura.
- Adecuación del proceso de soldadura para el tipo, espesor y aleaciones de los metales a soldar.

Evaluación de los efectos del precalentamiento y tratamiento térmico post-soldadura. Para metales con altas tasas de dureza, un enfriamiento lento evitará el agrietamiento de la zona afectada por el calor. La matriz cúbica centrada en las caras del material puede desarrollar estructuras de grano cristalino grueso cuando se enfría lentamente.

Flujos. Flotan mezclados cuando se funden sobre la parte superior de los metales líquidos, protegiendo o haciendo de escudo de los metales respecto a la atmósfera. Las reacciones químicas entre el metal y los flujos son posibles en las interfaces. Si el flujo es alto el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) es posible una reacción química que pueda producir mayor porcentaje de silicio en el metal soldado de lo previsto.

### **PRUEBAS NORMALIZADAS DE SOLDADURA.**

La Sección IX del código ASME de calderas y recipientes a presión contiene detalles sobre especificaciones que deben prepararse por el fabricante y las pruebas que deben hacerse por un soldador para ser considerado soldador cualificado.

Debería ser apropiado definir los términos: prueba de tensión en la sección reducida; prueba de doblado libre; prueba de doblado o flexión de raíz; prueba de doblado o flexión de la cara, y prueba de doblado o flexión lateral, ya que son utilizados intensivamente en las calificaciones de soldadura normalizadas. Véase el código ASME, Sección IX, para especificaciones típicas de pruebas de soldadura. Las

pruebas de tensión en la sección reducida se utilizan para calificar el proceso que, en taller o local del contratista, se usan para soldar. Cuando se rompen bajo presión, debe tener una última resistencia o tracción al menos del rango mínimo de la chapa que se suelda (material base) y la elongación debe ser de como mínimo del 20 por 100.

La prueba de doblado lateral o flexión lateral se usa para calificar soldadores. El espécimen se somete a flexión contra el lado de la soldadura. En el test de flexión de cara el espécimen es sometido a flexión contra la superficie o cara de la soldadura. En el test de flexión de raíz, el espécimen es sometido a flexión contra la parte inferior o raíz de la soldadura. El test o prueba de flexión libre es una prueba de calificación del procedimiento en taller o lugar de la contrata. La prueba consiste en el doblado o flexión en frío de un espécimen y las fibras exteriores de la soldadura deben alargarse (sin agrietarse ni romperse) al menos un 30 por 100 antes de que la rotura tenga lugar.

Para pasar cada prueba, los especímenes, guiados a flexión no deben presentar grietas u otros defectos abiertos que excedan de 1/2" (12,2 mm) medidos en la dirección de la superficie convexa del espécimen después de la flexión, excepto que las grietas aparezcan en las esquinas del espécimen durante la prueba y que no se consideran a no ser que estas ocurran por inclusiones de escoria u otros defectos técnicos de soldadura.

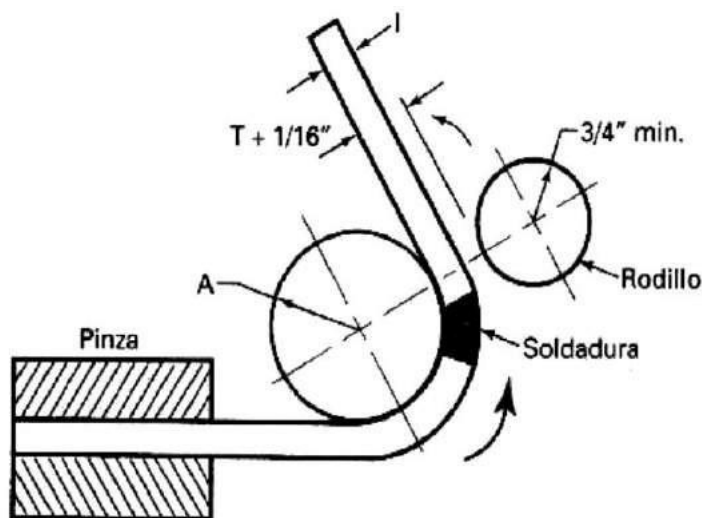
### **PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Cada fabricante o contratista que construye una caldera por soldadura según el Código está obligado a llevar el registro del detalle del procedimiento seguido. Cada procedimiento requiere prueba de las soldaduras realizadas por tests de especímenes de sección reducida y especímenes de flexión o doblado guiado. Las variables que requieran un nuevo procedimiento y nuevas chapas de prueba son muy numerosas. Entre estas están los cambios en los materiales de base, agrupados en Aplicaciones de soldadura ASME (Sección IX) en los primeros «P». Por ejemplo, P-1 incluye los aceros al carbono, P-2 se utiliza como hierro bruto, pero no está listado más, P-3 consta de aceros al cromo-molibdeno, con contenido de cromo por debajo del 0,75 por 100 y con un total de contenido de aleación no mayor del 2 por 100. El rango

de números P llega hasta P-10, de modo que las variables de material base en el procedimiento de calificación es grande.

La siguiente variable es el electrodo y selección de la varilla de soldadura, con rangos desde F-1 a F-7. Cada cambio en la selección de electrodo por varilla de soldadura requiere un nuevo conjunto de pruebas de chapas o proceso de fabricación.

**Figura 12.** Las pruebas mecánicas de soldadura incluyen flexión guiada de las soldaduras de garganta.



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

El metal de la soldadura se clasifica por análisis del metal, según los números desde A-1 hasta A-8. Estos se relacionan con los numerosos P equivalentes del material base. De nuevo los cambios del metal soldado de la clasificación del metal másequivalente requieren un nuevo conjunto de test de chapas o procedimiento de cualificación.

El espesor de la chapa o tubo a soldar es otra variable. La clasificación va desde 1/16" a 3/8" (1,59 a 9,53 mm), desde 3/8" a 3/4" (9,53 a 19 mm) y de más de 3/4" como se ve en el Código. El código ASME de soldadura especifica otras variables a considerar al requerirse un nuevo procedimiento de cualificación y prueba, y estas deberían consultarse para variables específicas.

En las soldaduras de garganta, se requiere para calificación del soldador una prueba de flexión o doblado de cara y una prueba de flexión o doblado de raíz para cada posición de soldadura. Para soldadura por puntos se precisa una prueba de

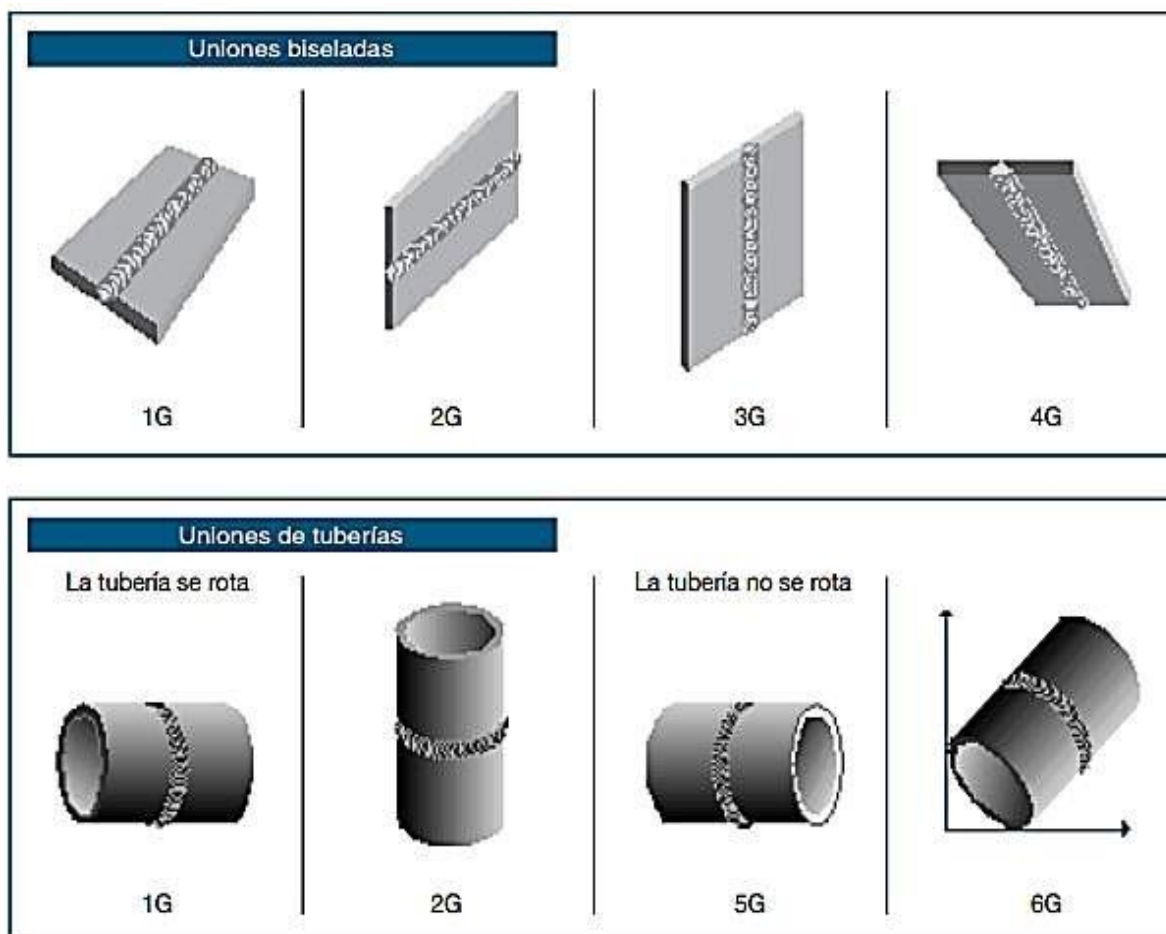
chapa según el Código, pero pasando la prueba de soldadura de garganta también se clasifica al soldador para soldadura por puntos. La calificación del procedimiento requiere pruebas de flexión de dos caras, pruebas de flexión de raíz y dos test de tensión en la sección reducida, como se ilustra en el Código de calificación de soldadura de la ASME.

### **CALIFICACION DEL SOLDADOR.**

Un soldador calificado es alguien que es capaz de realizar soldaduras manuales o semiautomáticas. Un operario de soldadura es el que opera una maquina o equipo de soldadura automática. El Código de trabajo de calderas exige la utilización de un soldador cualificado en la mayoría del trabajo donde se realizan soldaduras según el Código. La prueba de cualificación puede ser realizada por los fabricantes o contratistas responsables. En los trabajos sobre recipientes a presión, debe certificarse y calificarse también el procedimiento de soldadura del fabricante o contratista antes de que el soldador pueda ser calificado. Bajo otros códigos o normativas esto no es necesario. Para llegar a esta cualificación un soldador debe realizar soldaduras específicas, utilizando el proceso de soldadura exigido, el tipo de metal, espesor, tipo de electrodo, posición y diseño de junta. Los especímenes de prueba deben estar hechos a tamaños normalizados y bajo la observación de una persona cualificada. En la mayoría de las especificaciones gubernamentales un inspector gubernativo debe testificar la ejecución de los especímenes de soldadura. Los especímenes deben estar también adecuadamente identificados y preparados para las pruebas. La prueba común es el test de flexión guiado. Sin embargo, los exámenes de rayos X, pruebas de rotura u otras pruebas también se utilizan. La ejecución satisfactoria de las pruebas de especímenes cualificará\* al soldador para tipos específicos de soldadura. La certificación según el Código, en general está basada en el rango del espesor a soldar, las posiciones a utilizar y los materiales a soldar.

La soldadura de piezas de caldera está bajo control cerrado de las muchas variables implicadas en la soldadura, de modo que compruebe el código de soldadura ASME\*\*. Recordamos de nuevo los siguientes puntos:

**Figura 13.** Código de posiciones de soldar para soldaduras de garganta utilizadas para cualificar operadores. Posiciones de las pruebas



Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

El fabricante o contratista que sigue el Código de soldadura en calderas y recipientes a presión (o vasijas nucleares) es responsable de dirigir las pruebas del procedimiento de cualificación y las cualificaciones de los soldadores para el trabajo hecho por su organización.

Las cualificaciones de los soldadores permanecen efectivas en tanto en cuanto el soldador este empleado por el mismo fabricante u organización y para las soldaduras de modo continuo. Pero si el soldador cambia de empleo, ya no se le considera más como cualificado, y así debe realizar las pruebas de nuevo. Si el soldador no ha hecho ninguna soldadura en un periodo de más de seis meses en la posición, material, etc., para las cuales fue cualificado, debe ser recualificado.

El fabricante o contratista es responsable de mantener todos los registros de procedimiento y pruebas de cualificación de soldadores. Estas son necesarias como evidencia del taller o habilidad del soldador para hacer aceptable su trabajo según el Código. Un inspector autorizado según el Código tiene derecho, sin embargo, a preguntar o exigir otras pruebas si hay razón para creer que la soldadura no es aceptable según los requisitos normativos.

El fabricante o contratista debe asignar números identificativos, letras o símbolos para cada soldador cualificado y operario de soldadura, de forma que el trabajo del soldador u operario de soldadura podrá ser identificado y retomado si es necesario.

Los soldadores no cualificados pueden ser utilizados en calderas construidas según normativa legal para soldar piezas cuya resistencia en la caldera no depende en ningún modo de la soldadura y, adicionalmente, el efecto térmico de la soldadura no afecte en modo alguno a la resistencia de las piezas o componentes o sea asiento de tensiones en partes adyacentes a la zona que está siendo soldada.

No es permisible soldar cualquier tipo de acero para piezas de calderas a presión. Debe ser material admitido por la normativa legal y también debe ser acero al carbono o aleado de un contenido de carbono de no más del 0.35 por 100. Esta regla también se aplica al corte oxiacetilénico u otros procesos de corte térmico.

Los calderines soldados de caldera pueden tener una distorsión limitada. El calderín debe ser circular en cualquier sección dentro del límite del 1 por 100 del diámetro medio. Si es necesario para cumplir este requisito, las chapas deben ser calentadas, relaminadas o reformadas. Los hogares deben ser laminados (en calderas escocesa marinas o de hogar interior) con una desviación máxima de la circunferencia real de no más de 1/4" (6,35 mm). Las chapas de espesor desigual pueden soldarse supuesto que haya una sección de transición intermedia, que tendrá una longitud no menor de tres veces la diferencia entre las superficies de chapa adyacentes, y supuesto que las juntas o uniones entre chapas difieran en espesor no más de 1/4 del espesor de la chapa más fina, o no más de 1/8" (3,2 mm).

Hay muchos requisitos normativos detallados en la Sección I del Código, así como requisitos en el Código de calderas de calefacción, Sección IV. Además los

requisitos generales de soldadura están cubiertos extensamente en la Sección IX del Código, que debería ser revisada para ver los detalles sobre los requisitos.

### **INSPECCIONES DE SOLDADURA EN CAMPO**

Las siguientes son algunas áreas que el personal de planta debería cubrir o cumplimentar cuando se revisan las soldaduras realizadas en su planta:

- Conformidad del proceso de soldadura que este siendo utilizado con las especificaciones del procedimiento escrito.
- Extensión de la limpieza de una junta previamente a su soldadura para asegurar una soldadura perfecta.
- Precalentar y mantener las temperaturas de transición y ver cómo son estas en comparación con los requisitos del Código para los materiales que están siendo soldados.
- Preparación de la junta y conformidad con las especificaciones del Código y dimensionales escritas.
- Material de relleno y adecuación para el proceso de soldadura y el material que está siendo soldado según requisitos del Código.
- Martilleo, amolado y vaciado que se llevan a cabo después de cada pasada de soldadura para eliminar escorias e impurezas.
- Refuerzo de la chapas durante la soldadura para controlar la distorsión.
- El tratamiento térmico después de la soldadura debe ser realizado y cumplido según el Código y los requisitos de temperatura y tiempo de mantenimiento de la misma.
- Cualificación de los soldadores que hacen el trabajo y la correspondiente documentación a cumplimentar por el fabricante o contratista.

### **NORMAS DE SEGURIDAD**

La AWS (American Welding Society) ha publicado muchas líneas maestras a seguir como normas recomendables de seguridad al realizar las soldaduras de campo. Entre estas están las siguientes:

- Los gases y humos generados por una soldadura requieren adecuada ventilación alrededor del lugar donde se efectúa.

- La radiación en forma de luz ultravioleta del área de soldadura requiere el uso de filtros para proteger los ojos y vestido adecuado para proteger la piel.
- El ruido producido por el trabajo requiere utilizar protección de oídos en forma de casco u orejeras.
- El levantamiento de piezas pesadas exige seguir las reglas establecidas de seguridad sobre prácticas adecuadas de elevación.
- Las descargas eléctricas deben evitarse estando seguros de que el equipo está conectado a tierra adecuadamente y de que no hay contacto con partes eléctricas vivas.
- El peligro de incendio debe evitarse con la purga adecuada de cualquier recipiente que contenga gases o líquidos combustibles. La zona contigua de toda soldadura debe comprobarse respecto a todo material combustible y los prometimientos de protección de incendios deben seguirse, incluso la vigilancia y extintores a localizar y situar en las proximidades.

Es esencial tener un procedimiento para el permiso de trabajo en caliente del lugar, implicando la supervisión por ambas, tanto la gerencia de la propiedad como del contratista de soldadura. La gerencia de la propiedad conoce los riesgos que pueden existir en su operación por utilizar una fuente de ignición potencial representada por toda operación de corte o soldadura.

La entrada en espacios cerrados según la normativa OSHA requiere procedimientos de purga y después prueba del espacio confinado para estar seguro de que hay al menos 19 por 100 de oxígeno presente en dicho espacio del recipiente o vasija. La regulación también requiere que se sigan otras normas de OSHA para entrada en espacios confinados como la de que no se ponga en peligro al personal que entre en tales espacios y que haya seguridad de socorro en caso de accidente en su interior.

### **PRUEBAS Y EXAMENES NO DESTRUCTIVOS**

Las técnicas modernas de inspección para asegurar la buena calidad de materiales, para detectar defectos ocultos de fabricación, para comprobar soldaduras y reparaciones y para aumentar el esfuerzo de prevención de pérdidas en plantas requiere el uso de métodos de inspección por técnicas no destructivas. Las pruebas

no destructivas se usan también para predecir la vida futura del equipo. Por ejemplo, la comprobación periódica del espesor de una chapa en servicio corrosivo ayudara a determinar cuándo puede tener que reducirse (ese servicio) porque la chapa haya disminuido su espesor, esto también determina que tasa hay de desgaste por año.

El término pruebas no destructivas (NDT) se utiliza para describir el método de prueba o material de inspección para determinar la solidez (o falta de defectos) para que no afecte física o químicamente al material. Las pruebas no destructivas pueden implicar los métodos siguientes: examen visual, prueba hidrostática o de fugas radiográficas, partículas magnéticas, tintes penetrantes, ultrasonidos y corrientes parásitas.

El propósito de las NDT es detectar faltas de tipo incipiente, como grietas, inclusiones, vacíos, porosidad, falta de fusión en soldaduras, laminaciones, faltas de penetración, cortes no visibles, contracciones, mermas y defectos similares de modo que se puedan efectuar reparaciones antes de que los defectos puedan producir un fallo serio en el servicio. Las propiedades mecánicas de las soldaduras se comprueban también. Estas incluyen pruebas de flexión y de extensión, Pero estas se consideran destructivas porque tiene lugar una deformación permanente. Las pruebas de dureza se utilizan también para comprobar los cambios metalúrgicos que pueden haber ocurrido en la zona afectada por el calor (HAZ) de una soldadura, y estas pruebas pueden considerarse no destructivas. Una breve revista de los métodos NDT empleados en fabricación y reparación de calderas es adecuada, pero los requisitos exactos están detallados en el código ASME, concretamente en la Sección V.

### **INSPECCIONES VISUALES.**

La inspección visual de una soldadura como método NDT comienza con la comprobación de si se ha usado el material adecuado según el Código. Esto se hace normalmente comparando el informe de la laminación con las marcas que lleva el material. Debe comprobarse también la selección y almacenaje de los electrodos. Los procedimientos escritos de soldadura deben revisarse, así como el registro de soldadores que realizaban el trabajo. Es importante revisar la posición y alineación de las piezas a soldar para estar seguro de que cumplan las especificaciones del

Código. Las soldaduras deberán comprobarse para poner de manifiesto falta de fusión de la junta, cortes anteriores y observaciones visuales de defectos semejantes. Un inspector experto detectara muchos defectos por simple inspección visual. La AWS ha establecido ahora un programa de pruebas para certificar inspectores de soldadura que cumplan un mínimo establecido de requisitos.

Un boroscopio o fibroscopio puede utilizarse en las zonas difíciles de ver de un recipiente, zonas como los tubos en un cambiador de calor. El boroscopio es un tubo deslizante y flexible de manejo manual consistente en una serie de lentes y fuentes de luz internas que permiten visualizar una zona o pared de un recipiente que normalmente no puede verse. La llegada de la fibra óptica ha conducido al desarrollo del fibroscopio, que consiste en un conjunto de luces y fibras transmisores de imagen por el interior de un alojamiento flexible que tiene una lente ocular en un extremo.

### **EXAMEN RADIOGRÁFICO.**

La inspección radiográfica incluye los rayos X y rayos gamma obtenidos a partir de isótopos, como el cobalto 60 y el iridio 192 cuya energía radiante puede ser controlada con seguridad. El método radiográfico de prueba básicamente implica el paso de radiaciones a través del material que se quiere probar. Los rayos inciden sobre una película o pantalla y por visión del contraste es posible para un radiografista experto detectar y detallar la estructura interna del objeto sometido a prueba. El punto focal es una pequeña zona en el tubo de rayos X desde la cual emana la radiación. En radiografía gamma, un isótopo como el cobalto 60 es la fuente o foco de radiación. Cuando se usan isótopos radiactivos, la intensidad en curios es importante, así como el tamaño físico de la fuente. A menor fuente de radiación, más cercano debe colocarse el material; al mismo tiempo, cuanto menor es el tamaño, más débil es la intensidad de la fuente en curios y mayor tiempo de exposición se necesita. La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. Sin embargo, no es posible colocar el foco y el material tan cercanos como es necesario. Se comprobó que cuanto más corta es la distancia fuente-película, mayor es el paralaje o halo, efecto sobre la

película radiográfica. Esto puede hacer borroso o desdibujar la imagen de una inclusión que debe estar en el material de prueba y así enmascarar un defecto.

**Tabla 2.** Maquinas típicas de rayos X utilizadas en radiografías para comprobar defectos metálicos

<b>Máxima tensión (kV punta)</b>	<b>Pantallas</b>	<b>Aplicaciones y limitaciones aproximados de espesor práctico</b>
50	Ninguna	Secciones metálicas extremadamente delgadas. Madera, plásticos, especímenes biológicos, etc.
150	Ninguna o laminade plomo fluorescente	Aleaciones ligeras, 5" (127 mm). Aluminio o equivalente; 1" (25.4 mm) acero o equivalente 1 ½" (38 mm) acero o equivalente
250	Lamina de plomo Fluorescente	2" (50.8 mm) acero o equivalente 3" (76.2 mm) acero o equivalente
400	Lamina de plomo Fluorescente	3" (76.2 mm) acero o equivalente 5" (101.6 mm) acero o equivalente
1000	Lamina de plomo Fluorescente	5" (127 mm) acero o equivalente 8" (203.2 mm) acero o equivalente
2000	Lamina de plomo	8" (203.2 mm) acero o equivalente
15-24	Lamina de plomo	16" (406 mm) acero o equivalente
MeV*	Fluorescente	20" (508 mm) acero o equivalente

Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

**Tabla 3.** Fuentes radioactivas de rayos gamma utilizadas en radiografías para detectar defectos de material.

<b>Material</b>	<b>Vida media</b>	<b>Millones de electrón-voltios de rayos</b>	<b>Espesor de la aplicación de acero en pulgadas</b>
Cobalto 60	5.3 años	1.17 - 1.33	1.5 – 5
Cesio 137	33 años	0.66	1.0 – 4
Iridio 192	70 días	0.137 - 0.651	0.5 – 2.5

Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

Generalmente la falta de contraste geométrico no será mayor que 0,020" (0,5 mm) para un material con espesor inferior a 2" (50,8 mm); no mayor de 0,03" (0,76 mm) para material con espesor entre 2" y 4" (50 a 101 mm); y no más de 0,05" (1,27 mm) para material con espesor mayor de 4" (101 mm). Se requiere un operario de radiografías experto y cualificado para demostrar la capacidad de cumplir estos requisitos. El tiempo de exposición para una radiografía debe ser suficiente para

cumplir con las normas de densidad de película, que es una medida del efecto de oscurecimiento sobre la película expuesta. Las radiografías que están con demasiada luz pueden no revelar defectos como inclusiones, y aquellas que son demasiado oscuras pueden hacer imposible separar los defectos del fondo.

Los requisitos de densidad según la Sección V del código ASME estipulan que la densidad de la película transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrómetro adecuado y la zona de interés» será:

- 1,8 para película sencilla visionando película de rayos X.
- 2,0 para radiografías de fuente de rayos Gamma.
- 2,6 para exposiciones de película doble.
- 4,0 para densidad máxima permitida para visionado simple o compuesto.

En las zonas soldadas que van a ser radiografiadas, las superficies deben estar pulidas de modo que se eliminen las irregularidades superficiales que pudieran interferir con una interpretación adecuada de la película.

Los defectos tales como grietas, inclusiones de escoria, falta de penetración, vacíos y otros aparecen como zonas oscurecidas en la película ya que tienen menor densidad que el metal macizo. Las faltas típicas a resaltar son las siguientes: grietas que aparecen como líneas irregulares oscuras, inclusiones de escoria que se muestran como pequeños puntitos o motas oscuras con líneas externas irregulares, bolsas de gas que aparecen como motas oscuras con líneas externas suaves con arañazos o fallos ocasionales y la falta de penetración que se evidencia por una suave línea oscura a menudo localizada en medio de una soldadura.

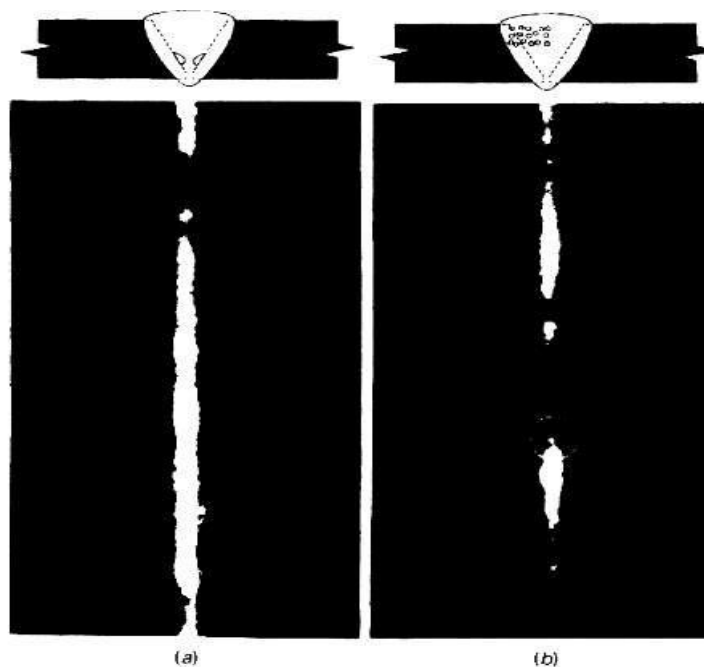
El Código proporciona guías o normas para juzgar cuando una indicación es aceptable. Algunas de las normas o requisitos son los siguientes:

El primer requisito es la inspección visual de la soldadura. Las uniones deben tener penetración total de la junta y deben estar libres de cortes internos, solapes o picos y valles abruptos. Está especificado que el refuerzo de soldadura no exceda de lo siguiente:

**Tabla 4.** Refuerzos de soldadura.

<b>Espesor de chapa</b>	<b>Máximo espesor del refuerzo</b>
Hasta ½" (12.8 mm) inclusive	1/16" (1.59 mm)
Más de ½" a 1" (25.4 mm) inclusive	3/32" (2.38 mm)
Más de 1" a 2" (50.8 mm) inclusive	1/8" (3.175 mm)
Más de 2" inclusive	5/16" (7.94 mm)

Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

**Figura 14.** Películas radiográficas para estudiar las formas típicas de los defectos.

Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

Las juntas soldadas para ser radiografiadas deben estar libres de arrugas o irregularidades superficiales de soldadura hasta el punto de que el contraste radiográfico resultante debido a algunas irregularidades no oculte o induzca a confusión en las imágenes de un defecto cuestionable.

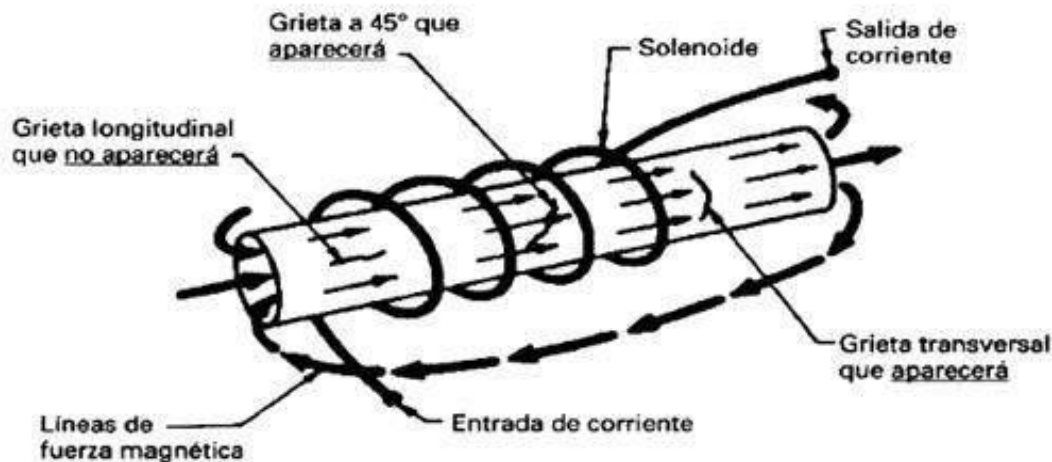
Deben usarse unos patrones denominados penetrámetros para cada exposición de una película. El penetrámetro sirve como patrón de referencia y comparación sobre la película para comparar la magnitud de los defectos de la soldadura. Esto se realiza mediante una pequeña tira o banda de metal para cada exposición y taladrando orificios en la tira antes de la exposición; estas cintas metálicas sirven como guía para detectar defectos existentes dentro del 2 por



## PRUEBAS Y ENSAYOS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Estas pruebas se usan para detectar fallos superficiales por medio del establecimiento de un campo magnético o líneas de fuerza magnética, entre dos electrodos. Se rocía con un polvo magnético sobre el trabajo de prueba. El campo magnético afectará al polvo magnético y estas partículas se alinearán sobre un fallo ... Pero la interpretación correcta de las concentraciones de polvo magnético requiere experiencia y práctica. La inspección por partículas magnéticas es un medio práctico de señalar discontinuidades de labio cerca de la superficie de una pieza. Tanto el método seco como el húmedo están disponibles en la actualidad.

*Figura 16. Inspección de partículas magnéticas.*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

Las discontinuidades en un material magnetizado hacen aflorar campos de fugas localizados. Y estos campos atraen a las partículas finamente divididas. Este último punto señala el defecto y marca su extensión sobre la superficie de la pieza sometida a inspección.

Ambos tipos de corriente, continua y alterna, se utilizan para magnetizar. La corriente continua (CC) es útil para encontrar discontinuidades bajo la superficie y se utiliza normalmente para inspeccionar soldaduras y fundiciones. La corriente alterna (CA) se emplea normalmente cuando se comprueban piezas mecanizadas de gran precisión y acabado fino.

Generalmente se considera la magnetización de corriente continua cuando se buscan defectos y roturas bajo la superficie. Con la corriente continua el campo magnético se extiende por el interior de la pieza, y los campos de fugas magnéticas se producen en la superficie por interrupción del camino magnético debajo de la superficie.

La corriente continua de media onda es un suministro práctico para defectos subsuperficiales, especialmente cuando la superficie exterior es basta como en las fundiciones o soldaduras. La corriente rectificadora de media onda proviene de una fuente de corriente monofásica de alta intensidad y baja tensión. La mayoría de los fabricantes de equipo industrial pesado utilizan estas pruebas para comprobar grietas o roturas en soldaduras y fundiciones. Las soldaduras pesadas de gran espesor pueden inspeccionarse varias veces durante la elaboración de la soldadura y después de cada pasada, si se desea.

Los polvos magnéticos secos se usan para los tipos más ligeros de inspección. Los polvos rojos, grises o negros dan el contraste necesario de color de la pieza que se está comprobando. Los polvos secos permiten una sensibilidad máxima para defectos profundos y grietas para la superficie.

La técnica del método húmedo usa una pasta mezcla de partículas magnéticas combinadas con aceite o agua. La pieza a inspeccionar bien se sumerge en la mezcla o bien la mezcla se extiende sobre la pieza. En el método seco, que es más sensible a defectos bajo la superficie, el polvo magnético se extiende por sopleo sobre la pieza a inspeccionar.

Para muchas aplicaciones, las partículas magnéticas son recubiertas con un material fluorescente y se usan en combinación con luz negra. Así, la indicación resultante reluce y es atractiva para el ojo. En efecto, esto incrementa la sensibilidad de la inspección.

La principal limitación del método de las partículas magnéticas es que se aplica solo a materiales magnéticos y no es adecuado para unos defectos muy pequeños o situados muy profundamente. Cuanto más profundo está el defecto debajo de la superficie, más grande aparecerá. Los defectos superficiales son más fáciles de hallar cuando tienen una forma agrietada, como la de la falta de fusión en la soldadura. En objetos grandes y pesados, cuando se desea una inspección

extremadamente sensible, la operación lleva más tiempo. Esto es cierto con piezas de tamaño medio crítico como hélices de aviones. Con las pruebas de partículas magnéticas, la superficie a inspeccionar debe estar disponible para el operario. Esto significa que los ejes u otros equipos no pueden inspeccionarse sin desmontar ruedas, poleas o alojamientos de cojinetes.

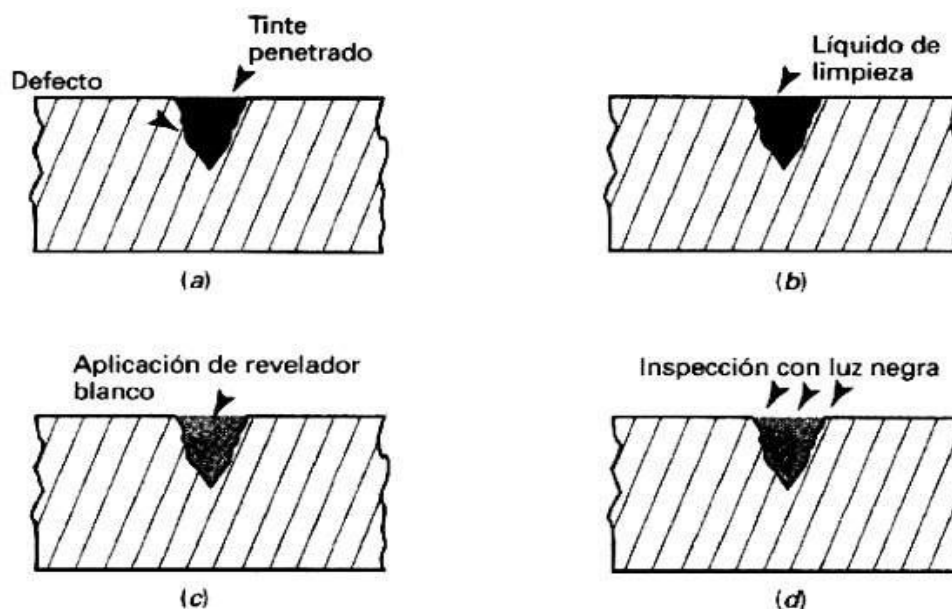
Las ventajas del ensayo de partículas magnéticas son muchas. La prueba de partículas magnéticas puede usarse sobre materiales de tipo magnético que son muy corrientes en productos industriales. Es un método positivo de encontrar todas las grietas superficiales. Y como estas grietas en las superficies son las más serias y pueden conducir a la rotura, es importante. El sistema es flexible y permite el uso efectivo de equipo portátil. El coste de equipo y horas de trabajo requeridas para la prueba resulta favorable en comparación con el método de inspección visual simple.

### **INSPECCIÓN DE LÍQUIDOS (TINTES) PENETRANTES.**

Este método de prueba se utiliza de modo algo parecido a las pruebas de partículas magnéticas, excepto que se usa principalmente sobre materiales no magnéticos. Pero puede utilizarse sobre material magnético. El tinte penetrante contiene un tinte visible, normalmente rojo. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas rajadas o puntos contra el fondo blanco del revelador. Es principalmente un indicador de defectos superficiales y se utiliza como sigue: se aplica un tinte penetrante a la pieza en baño o inmersión, con brocha o espray y se le deja situarse durante algún tiempo. Después del tiempo apropiado de penetración, el exceso de líquido penetrante se elimina de la superficie y se aplica un revelador. El líquido penetrante queda atrapado en el defecto y se lleva a la superficie por la acción del revelador [Figura 18]. Las grietas se detectan al notarse el contraste entre el color blanco del revelador y el rojo del líquido penetrante.

Otro sistema de penetración utilizado es el método fluorescente penetrante que contiene un material que es fluorescente y brilla bajo una luz negra. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas fluorescentes o puntos contra el fondo no fluorescente.

*Figura 17. La inspección por líquido penetrante implica cuatro pasos para revelar un defecto*



*Fuente: Cansaya y Huallata (2015).*

Las ventajas del método de tinte penetrante son las siguientes: es de suministro rápido en el sistema de inspección de puntos durante una parada menor por períodos de cierre; el coste inicial de la prueba es relativamente bajo. Una superficie perfectamente blanca o tipo sabana indica que hay ausencia de grietas u otros defectos que estén abiertos a la superficie. Las desventajas son que no es práctico sobre superficies muy bastas o rugosas y que el color de contraste es limitado sobre algunas superficies. También que solo detecta defectos abiertos a la superficie.

### **INSPECCIONES ULTRASÓNICAS.**

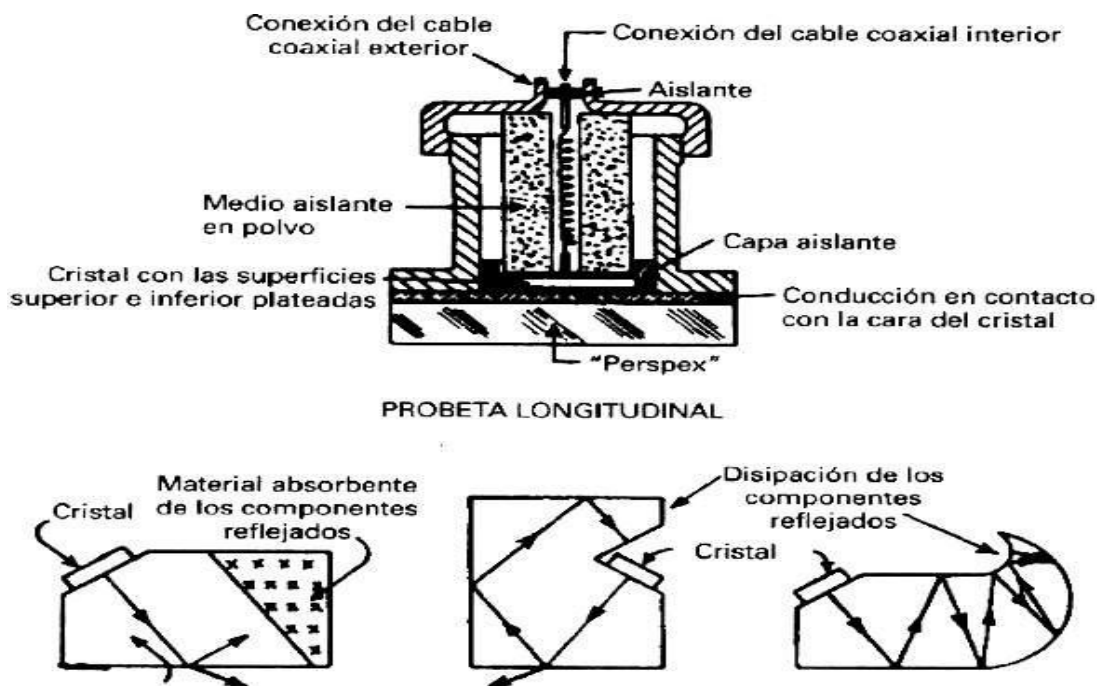
Las pruebas ultrasónicas hacen uso de ondas sónicas de alta frecuencia de 0,5 a 10,0 MHz para inspección del material en busca de grietas o defectos y para medir el espesor de chapa o pared. El principio básico utilizado en un sistema de ultrasonidos es la transformación de un impulso eléctrico en vibraciones mecánicas y después la re transformación de las vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos que puedan verse o mostrarse en una pantalla denominada pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT). La transferencia de energía mecánica a eléctrica se hace por medio de un transductor. Un transductor es un dispositivo que transforma energía de una forma a otra. Los transductores ultrasónicos transforman energía eléctrica de alta

frecuencia en energía mecánica de alta frecuencia a través de elementos magneto-restrictivos hasta 100 kHz, y por encima de este rango suelen ser normalmente del tipo piezoeléctrico. En el campo NDT ultrasónico, los transductores piezoeléctricos se utilizan mucho. Los transductores piezoeléctricos dependen de la dilatación o expansión y contracción de ciertos materiales cerámicos y cristalinos bajo el influjo de un campo potencial eléctrico fluctuante (oscilante). Si se aplica presión mecánica a ciertas capas de cristales específicos, se genera un potencial eléctrico a través de ellos que es proporcional a la presión aplicada; e inversamente un potencial eléctrico de frecuencia apropiado producirá una vibración del cristal y eso genera ondas de presión en un medio con el que este en contacto. El componente básico de un típico impulso de detección de defectos es un impulso eléctrico corto generado y aplicado a los electrodos de la probeta, que convierte el impulso de eléctrico a energía de vibración mecánica. Este impulso ultrasónico viaja a través del material y una parte es reflejada a la probeta receptores mediante un reflector que puede ser la parte final del material sometido prueba por un defecto interno del mismo. El impulso que vuelve al receptor genera un pulso eléctrico que es amplificado y mostrado en la pantalla por un tubo de rayos catódicos.

El tubo de rayos catódicos (CRT) es un componente familiar de un aparato de televisión. Se emplea en muchas aplicaciones para hacer visible cualquier onda que puede ser convertida en un chorro o haz de electrones. Para evaluar la información mostrada en la pantalla del tubo de rayos catódicos (CRT) debe seguirse una calibración técnica de modo que puedan compararse o captarse los defectos con relación a bloques de referencia externos. El objeto principal de estos bloques es:

- Calibrar el instrumento para un tiempo base para ondas longitudinales o transversales.
- Medir ciertas características de las probetas y del aparato.

**Figura 18.** Detalles de probetas de cristal detectoras de ultrasonidos para sistemas de detección longitudinal y axial



Fuente: Cansaya y Huallata (2015).

Ajustar la sensibilidad y comprobarla periódicamente para validarla y que permanezca constante a lo largo de una prueba.

Tener un procedimiento escrito de modo que los ajustes y calibrado puedan ser duplicados posteriormente.

Las pruebas ultrasónicas están agrupadas en tres categorías básicas: pruebas de impulso-eco, transmisión transversal y prueba de resonancia. El método del impulso y eco implica transmitir un impulso corto del sonido de alta frecuencia a través de la pieza que se está probando y después detectar unos ecos que se reciben de algún detalle constructivo como un agujero o defecto del material que implique separación o vacío de material suficientemente grande como para que el sonido no pueda transferirse a través de la interface. En operación, un pulso-eco unitario producirá, a través de un impulso eléctrico, un impulso corto de serial eléctrico de alta frecuencia. Esta se transmite al transductor que así forzado a vibrar, normalmente a su frecuencia de resonancia.

Hay muchos instrumentos en el mercado que trabajan con batería y que son capaces de realizar muchas pruebas cualitativas.

- Como con los métodos de prueba no destructivos, hay distintas ventajas e inconvenientes asociados con las pruebas ultrasónicas. Las ventajas de estas pruebas son:
- Alta sensibilidad, permitiendo la detección de defectos minúsculos.
- Energía penetrante, permitiendo la detección e inspección de secciones de gran espesor.
- Precisión en la localización y medida del tamaño del defecto.
- Rápida respuesta, permitiendo una inspección rápida.

Las desventajas de las pruebas ultrasónicas son que puedan estar limitadas por la geometría desfavorable de la pieza, como tamaño común, contorno, complejidad y orientación relativa del defecto; y la estructura del material, como el tamaño del **grano, porosidad y contenido de inclusiones o precipitados finos dispersos.**

#### **ENSAYOS DE PRUEBAS Y FUGAS.**

Estos están considerados como pruebas NDT supuesto que los ensayos no mantienen dentro de los límites prescritos para evitar una deformación permanente. Una prueba hidrostática al 150 por 100 de la presión de trabajo admisible se considera como no destructiva. Durante esta prueba se hacen inspecciones visuales de soldaduras, juntas y conexiones para detección de fugas, mientras se vigila la presión para ver cualquier bajada que podría indicar una fuga oculta.

Otras pruebas de fuga son las de emisión de burbujas, detección de fugas de halógenos (freones) y espectrómetros de masas.

Los exámenes no destructivos mientras una pieza de un equipo está todavía en servicio son un objetivo a desarrollar a largo plazo. Un desarrollo reciente se ha realizado para inspeccionar tubos de vapor a alta presión utilizando tomografía computarizada de rayos gamma que mide la transmisión de fotones. Cuando los fotones penetran en el material, algo de su energía transportada se convierte en luz a través de la excitación e ionización o por procesos de fluorescencia. La luz centra el efecto fotoeléctrico en un tubo fotomultiplicador (o efecto fotovoltaico en un dispositivo de estado sólido) que produce un impulso eléctrico medible

proporcional a la energía de los fotones o rayos gamma incidentes. Un circuito discriminador detecta solo aquellos rayos gamma que han sido transmitidos a través del objeto de ensayo, eliminando la detección de los fotones no deseados. Mediante la utilización del análisis por ordenador y programas especiales para la analítica del tubo catódico, se puede utilizar un mapa tridimensional para detectar grietas.

Habrán otros métodos de examen no destructivo desarrollados en este campo creciente rápidamente que trata de ayudar a nuestra habilidad y capacidad para inspeccionar por los limitados sistemas visuales.

### **SELECCIÓN DEL MÉTODO NDT.**

La amplia selección o abanico de métodos NDT requiere considerar la fortaleza y sensibilidad de cada método, y cuál puede ser el defecto que nos concierne. Frecuentemente habrá de ser utilizado más de un método NDT para hallar y evaluar discontinuidades. El examen e inspección NDT requiere una gran experiencia en el sistema a aplicar para detección de defectos. Esta experiencia especializada se detalla en SNT-TC-IA. «Práctica recomendada para cualificación y certificación del personal de técnicas no destructivas, publicada por la Sociedad Americana de Pruebas No Destructivas (ASNT). Son posibles tres niveles o grados de cualificación en cada uno de los métodos NDT previamente descritos. La persona de nivel 3 está más cualificada, lo que generalmente requiere no solo conocimientos teóricos de los métodos NDT, sus ventajas, atajos y la interpretación de los resultados de las pruebas.

Los códigos de calderas y recipientes a presión de ASME se refieren a la ASNT como fuente de detalles sobre cualificación y certificación de examinadores de técnicas NDT. El inspector del Código debe incluso estar seguro de que los procedimientos descritos pueden detectar las discontinuidades por el método NDT a utilizar que no son aceptables en la sección del Código según la cual se está construyendo la caldera o recipientes a presión. Por ejemplo, hay normas radiográficas en la Sección I que pueden diferir algo de las que implican a un recipiente a presión nuclear. El inspector autorizado» que hace las inspecciones del Código revisará los resultados hallados por métodos NDT que están dentro de los

límites permisibles por el Código. Una coordinación muy cercana es pues esencial entre el examinador NDT y el inspector autorizado.

### **SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD**

Los detentadores del sello de ASME, como es la «S» de calderas de potencia, deben tener un sistema de control de calidad que demuestre que serán satisfechos todos los requisitos del Código sobre diseño, materiales, fabricación, examen NDT e inspección. El sistema de control de calidad por elementos debe estar por escrito, normalmente en forma de manual, pero con su utilización restringida para use de gente ajena y solo el inspector autorizado o persona que la ASME designe es quien revisara el proceso de detentadores del sello para merecerlo. El párrafo A-300 detalla los requisitos del control de calidad en la Sección I. Incluidos en lo descrito están: autoridad y responsabilidades para el control de calidad, carta de la organización mostrando cómo será llevado a cabo el control de calidad a través del taller del fabricante, cálculos y dibujos de diseño según el Código, procedimientos de control de materiales, métodos y procedimientos de inspección y examen de materiales, procedimiento de soldadura a seguir según el Código, exámenes no destructivos según el Código, tratamientos térmicos a aplicar, calibrado y procedimientos a seguir para tratar de equipos de medida y procedimientos de prueba de los equipos y registros a realizar y distribuir (informes de datos) y mantener según el Código.

### **Normas nacionales del reglamento de caldera**

Las calderas en Costa Rica se rigen por el Reglamento de Calderas emitido mediante el Decreto 26789 del Poder Ejecutivo de Costa Rica (1998), el cual hace uso de las facultades conferidas en el artículo 140, inciso 318 y 20 de la Constitución Política (Asamblea Nacional Constituyente de Costa Rica, 1949), la Ley General de la Administración Pública (Ley 6227, Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1978) y artículo 74 en el inciso f del título cuarto del Código de Trabajo (Ley 2, Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1943).

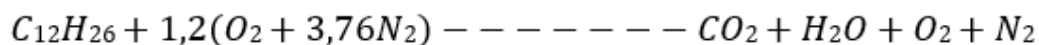
Para la competencia de este proyecto, la caldera será considerada clase A por su nivel de generación de vapor. Así mismo, cabe resaltar que, dentro de este reglamento, no hace referencia alguna a la fabricación de caldera, solo a la categorización, operatividad y vigilancia de estas.

### Cálculo de transferencia de calor para estimar el quemador de la caldera

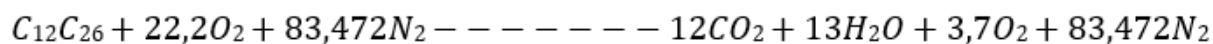
El plan térmico de la caldera gestiona, esencialmente, la estimación del tubo de fuego y de las entradas del cilindro, de modo que la intensidad entregada por el combustible pueda utilizarse para lograr la potencia de disipación esperada.

Una vez caracterizado el combustible por utilizar, se realizó un examen de la respuesta sintética mediante un equilibrio de masas, para decidir las corrientes de aire y combustible que deben entrar en la cámara de combustión y entregar la intensidad que el evaporador necesita para trabajar a su potencia evaluada.

Respuesta de combustión. Para considerar la respuesta de combustión, se toma la estructura compuesta del ACPM como  $C_{12}H_{23}$ . Según los escritos aconsejados sobre los procesos de ignición, para rellenos de fluido de bajo espesor consumidos por atomización, se sugiere utilizar un 20% de sobreabundancia de aire. Esto implica que se debe suministrar un 20% más de aire del que hipotéticamente se requiere para garantizar la combustión total. Para que se produzca el equilibrio de masas, se espera que la respuesta de la combustión haya terminado y que todo el carbono y el hidrógeno del combustible respondan con el aire para formar dióxido de carbono y agua. Con las consideraciones anteriores, el enfoque de la respuesta de combustión es el siguiente:



El coeficiente 1,2 se refiere a un incremento del 20% en la medida hipotética del aire, y 3,76 es la cantidad de moles de  $N_2$  por cada mol de  $O_2$  presente en el aire. Jugando con el equilibrio de masas, se adquirió la proporción adjunta:



Proporción combustible-aire. Se trata de un límite vital, ya que establece la cantidad de masa de aire que debe entrar en la cámara de combustión, por cada unidad de masa de combustible oxidado. La proporción aire-combustible se determinó de la siguiente manera:

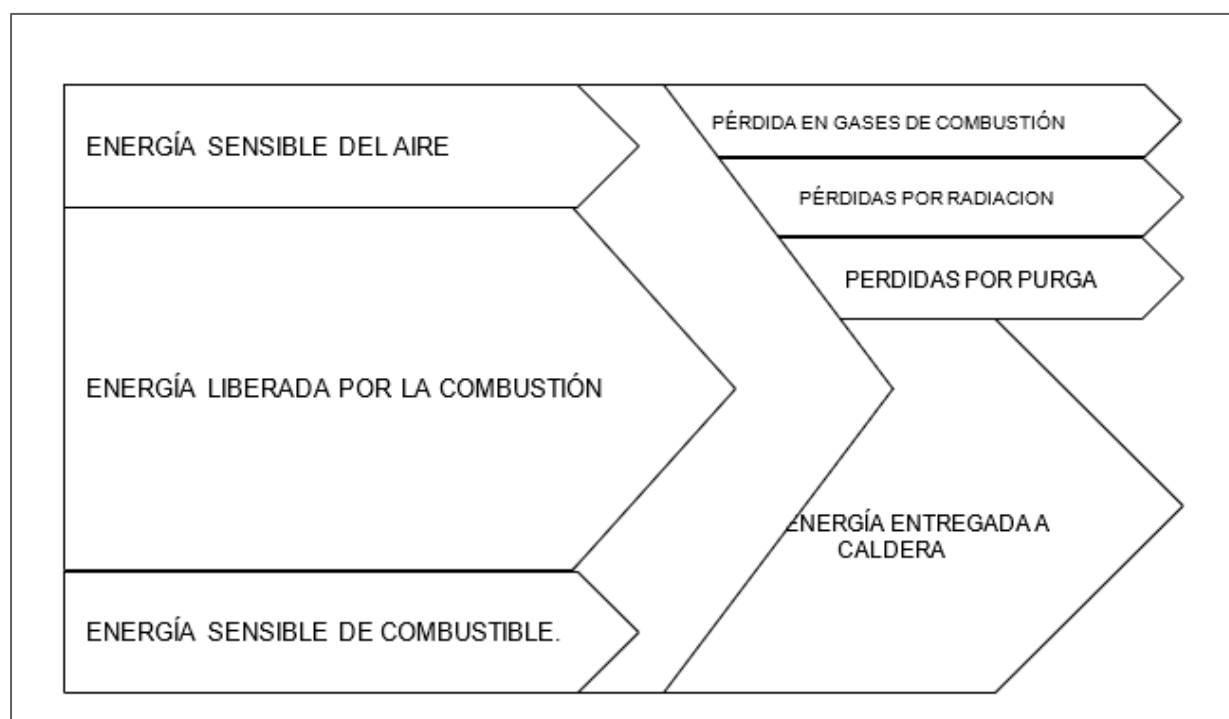
$$AC = \frac{m_a}{m_c} \frac{(N * M)_{O_2} + (N * M)_{N_2}}{(N * M)_c + (N * M)_h}$$

$$AC = 17.9$$

Donde  $N$  y  $M$  abordan la cantidad de moles y la carga subatómica de las mezclas individualmente, adquiridas de la mitad izquierda de la proporción razonable del compuesto. El resultado pretende realmente que, por cada kilogramo de diésel, se necesitan 17,912 kg de aire.

Utilización del combustible. La cantidad de combustible por quemar en la marcha cambia en función de la cantidad de módulos introducidos. No obstante, el sifón de combustible debe tener la opción de suministrar la mayor suma requerida, que es el punto en el que el evaporador trabaja a 10 BHP.

**Figura 19.** Diagrama térmico



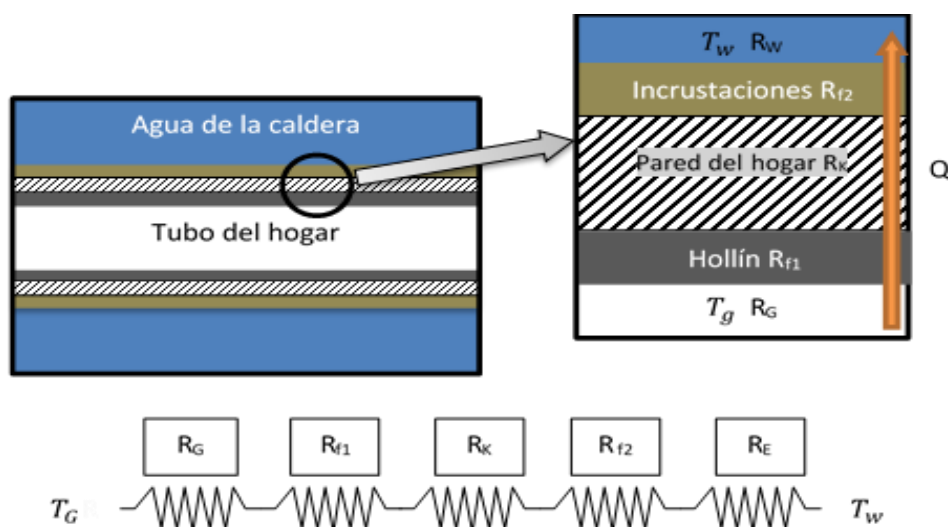
Para medir la utilización del combustible, se caracterizó una eficacia de calentamiento del 70%, que es un incentivo común para un evaporador piro-redondo de dos pasos sin el correspondiente quemador o economizadores. La utilización del combustible a partir de la competencia y el valor de calentamiento inferior del combustible se determinó de la siguiente manera:

### Trasferencia de calor en el hogar de la caldera.

Movimiento de calor en el calentador del evaporador. Para calcular el movimiento de intensidad en el calentador, el paso inicial fue establecer el plan del modelo termodinámico, para establecer las protecciones térmicas presentadas por los distintos medios a la corriente de intensidad, desde los gases de ignición hasta el agua que rodea el calentador.

En la figura 21, se puede ver que la intensidad se debe mover desde los elementos ardientes a una temperatura  $T_G$ , al agua del evaporador a una temperatura  $T_W$ , equivalente a la temperatura de inmersión en la tensión de funcionamiento. En la parte inferior de la figura, se encuentran las protecciones de calor que la corriente de intensidad necesita vencer para mover la energía entre estos dos líquidos. Cuando las protecciones de intensidad fueron dispuestas, continúa con la investigación de cada una de ellas independientemente.

**Figura 20.** Transferencia de calor en el hogar de la caldera



$R_G$  aborda la oposición que la corriente de intensidad necesita derrotar para pasar por los gases ardientes que, de forma comparable a las regulaciones de Fourier sobre la corriente, se puede comunicar como sigue:

$$R_G = T_G - T_s / Q_R$$

Donde  $Q_R$  es la intensidad entregada por los gases de la tubería y  $T_S$  es la temperatura de la superficie interior del hogar. Para el cálculo de  $Q_R$ , se han hecho las siguientes suposiciones:

- El marco funciona en estado consistente.
- Solo se piensa en el movimiento de la intensidad radiativa, ya que la entrada de la intensidad convectiva es mínima en comparación con la anterior.
- Dado que los sedimentos se acumulan en la masa interna de la cámara de combustión, esta puede considerarse como un cuerpo oscuro.
- La temperatura de los elementos de ignición en el delta del hogar es aproximadamente equivalente a la temperatura adiabática del fuego.
- Se considera como una respuesta total y los principales gases incluidos son H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>.

A la luz del libro de Cengel, la radiación entregada durante la ignición es fundamentalmente de dos tipos: la radiación no brillante, debida a los gases triatómicos CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O; y la radiación brillante, cuya alta emisividad se debe, predominantemente, a las partículas brillantes de sedimento producidas durante el sistema de combustión.

$$Q_R = Q_{NL} + Q_L$$

Donde,  $Q_{NL}$  es la intensidad movida a causa de la radiación no iridiscente y  $Q_L$  es la intensidad movida a causa de la radiación incandescente y  $Q_L$  es a causa de la gran temperatura de los gases triatómicos H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, que es aproximadamente equivalente a la temperatura adiabática del fuego. Como estos gases emanan y retienen la radiación, y la masa interna de la cámara de combustión actúa como un cuerpo oscuro a causa de los sedimentos, la intensidad movida por esta peculiaridad se comunica en la condición adjunta tomada del libro de movimiento de la intensidad.

$$Q_{NL} = ASI_H * \sigma(\epsilon_g T_{g4} - \alpha_g T_{s4})$$

Donde:

$ASI_H$  = Es el área superficial interna del hogar.

$\sigma$  = Contante de Stefan-Boltzmann =  $5,6704 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> K  $\epsilon_g$  = Emisividad de la mezcla de gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O  $T_g$  = Temperatura de los gases de combustión.

$\alpha_g$  = Absortividad de la mezcla de gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

$T_S$  = Temperatura de la pared interna del hogar.

Para la estimación de la emisividad de la mezcla de gases, se ha seguido el sistema creado por Hottel 1945; a la vista de la información de los ensayos, y se ha introducido en el libro de intensidad e intercambio de masas. Por lo que se adquiere:

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{H2O} + \varepsilon_{CO2} - \Delta\varepsilon$$

Donde:

$\varepsilon_{H2O}$  = Emisividad del vapor de agua

$\varepsilon_{CO2}$  = Emisividad de dióxido de carbono  $\Delta$

$\varepsilon$  =Factor de corrección por traslape Para determinar la emisividad del H2O y CO2, se pueden utilizar las cartas de Hottel, o como en este caso, utilizar las expresiones desarrolladas por Leckner.

El ciclo seguido para el cálculo de la emisividad de los gases triatómicos se describe, a continuación. Como paso inicial, se determina la emisividad del H2O o del CO2 a la presión del aire utilizando la articulación adjunta.

$$\varepsilon(T_g, PL_e) = \exp \left\{ a_0 + \sum_{j=1}^M a_j [\log(PL_e)]^j \right\}$$

$$a_j = c_{0j} + \sum_{i=1}^N c_{ij} (T_g/1000)^i$$

Donde  $\epsilon(T, PLe)$  es la emisividad a la tensión ambiental,  $P$  es la tensión fraccional del gas en bar,  $Le$  es la distancia típica recorrida por el haz de radiación en cm,  $T$  es la temperatura del gas en K. Los valores de  $c_{ij}$ , así como los de  $N$  y  $M$  para el humo del agua y el dióxido de carbono se introducen en la Tabla 6. De este análisis, se obtiene  $C2J$  con que muestra: -0,14391

**Tabla 5.** Los valores de  $c_{ij}$ ,  $N$  y  $M$  para el humo del agua y el dióxido de carbono

j	C0j	C1j	C2j	C3j	C4j
		Vapor de agua $T > 400^\circ\text{K}$ $M=2$ , $N=2$			
0	-2,2118	-1,1987	0,035596		
1	0,85667	0,93048	-0,14391		
2	-0,10838	-0,17156	0,045915		
		Dióxido de carbono $T > 400^\circ\text{K}$ $M=3$ , $N=4$			
0	-3,9781	2,7353	-1,9822	0,31054	0,015719
1	1,9326	-3,5932	3,7247	-1,4535	0,20132
2	-0,35366	0,61766	-0,84207	0,39859	-0,063356
3	-0,080181	0,31466	-0,19973	0,046532	-0,0033086

Fuente: Cengel (2007).

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **Enfoque de la investigación**

La presente investigación se puede clasificar como cuantitativa, debido a que toma como referencia diferentes parámetros de datos cuantitativos que se muestran con valores numéricos y que, por medio de distintos cálculos, se pueden determinar en una resolución. Esto con el fin de que pueda responder al cuestionamiento del problema que se planteó. Otra consideración para clasificar esta investigación como cuantitativa yace en la necesidad de medir y evaluar magnitudes de fenómenos o problemas de investigación, ya que, para el proceso investigativo, se recopilan datos para demostrar una hipótesis bajo parámetros numéricos.

### **Método de investigación**

El proyecto se clasifica como una investigación cualitativa, por lo que se puede utilizar un método que se enfoque en esta rama y que, por lo tanto, explore la línea de un diseño de investigación cuantitativo, no experimental, evolutivo. Esto se debe a que el tema en desarrollo presenta muchas variables productivas en lo que respecta a disponibilidad de materiales en Costa Rica y personal calificado por la American Society of Mechanical Engineers (ASME) para poder ejecutar las labores propias de la construcción de un equipo de este calibre. Todas estas variables tienen cambios significativos a través del tiempo.

### **Fuentes de información**

En un primer plano, fue necesario tomar información de distintos libros de texto sobre cuál debe ser la configuración adecuada de los equipos de vapor para que se adapten mejor a las condiciones que requieren las empresas. Además, fue necesario tomar información de revistas y hojas de datos técnicos de equipos similares. Estos textos y revistas contienen la información adecuada para la elaboración del marco referencial.

También cabe resaltar que se usó el método de cálculo expuesto en el código ASME, sección VIII, para el cálculo y dimensionamiento de equipos y calderas de presión, donde se resalta la selección y dimensionado de los elementos necesarios para la correcta escogencia de materiales.

### Variables o unidades de análisis

*Tabla 6. Variables o unidades de análisis*

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Definición instrumental	Definición operacional	Unidades
Dimensionar los elementos mecánicos que en conjunto trabajen como una caldera que genere vapor hasta un máximo de 10 BHP a 150 PSI.	Tiempo	El tiempo es una magnitud física con que se mide la duración o separación de acontecimientos. Permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuros respecto a otro; su unidad de medida es el segundo. El segundo se define como el tiempo que necesita el átomo de cesio 133 para efectuar exactamente 9.192.631.770 transiciones.	Project manager y almanaque	Mediciones en campo, de forma manual.	Días.

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición instrumental</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Unidades</b>
Dimensionar los elementos mecánicos que en conjunto trabajen como una caldera que genere vapor hasta un máximo de 10 BHP a 150 PSI.	Vapor de agua	El vapor de agua es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es inodoro e incoloro. Su unidad de medida es el pascal, el cual se define como la presión que ejerce una fuerza de un newton sobre una superficie de un m cuadrado normal a la misma.	Análisis cuantitativo en tablas de Excel para determinar la potencia nominal del equipo.	Se registra data del equipo para su tabulación en tablas e Excel.	kg/h

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Definición instrumental	Definición operacional	Unidades
Definir los elementos de control que garanticen la óptima y segura operación de esta caldera pirotubular de 10 BHP a 150 PSI	Corriente eléctrica	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en su interior. Al caudal de corriente (cantidad de carga por unidad de tiempo) se le denomina intensidad de corriente eléctrica (representada comúnmente con la letra I). Su unidad de medida es el amperio, el cual se define como la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro en el vacío, produciría una fuerza igual a $2 \times 10^{-7}$ newton por metro de longitud.	La corriente eléctrica se tomará con un multímetro marca Fluke 322 propiedad de César Cruz Salamanca	Mediciones de prueba para equipos similares.	Amperios

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Definición instrumental	Definición operacional	Unidades
Elaborar modelos en tres dimensiones de los elementos mecánicos de la caldera, para así hacer simulaciones mecánicas de esfuerzos y resistencia de materiales.	Modelos en 3D	Es el proceso de desarrollo de una representación matemática de cualquier objeto tridimensional (ya sea inanimado o vivo), a través de un <i>software</i> especializado. Al producto se le llama modelo 3D.	Análisis mecánicos de esfuerzos en el <i>software</i> SolidWorks (versión 2021) para esfuerzos de piezas mecánicas.	Cuantificación de planos de diseño para construcción de caldera de 10BHP.	Dibujos por piezas
Diseñar un plan de mantenimiento mensual a la caldera de vapor para garantizar una operación constante en la caldera de 10 HP.	Plan de mantenimiento de servicio para mantenimiento mensual.	Un plan de mantenimiento es el conjunto de intervenciones u operaciones preventivas que se debe realizar en los equipos o activos de una instalación, basadas en protocolos de mantenimiento para cada tipo de activo, para lograr cumplir con unos objetivos de disponibilidad, fiabilidad y coste.	Documento físico para darle servicio a la caldera.	Se elaborará un documento escrito con recomendaciones de servicios mensuales para óptima operación de la caldera.	Tiempo de ejecución

### **Proceso para la recolección y análisis de datos**

Para iniciar la presente investigación, fue necesario organizar información de varias fuentes de consulta, sobre todo, de libros de texto que hacen referencia al proceso constructivo de equipos de presión. Se programó una reunión virtual con personal nacional que destaca en el área de fabricación de piezas metalmecánicas y elementos de presión, para así tener de primera mano sus impresiones en el proceso constructivo de estos elementos, así como los criterios de diseño que ellos implementan. Adicionalmente, se solicitan fichas e información técnica de los equipos existentes con capacidades similares a los que se pretende construir en este proyecto.

## CAPÍTULO IV. DISEÑO TÉRMICO DE LA CALDERA

A continuación, se muestra el cálculo del quemador de la caldera, en base la información expuesta en el marco teórico:

$$m_c = \frac{\dot{Q}_{com}}{LHV}$$

Donde:

$m_c$  = Flujo másico del combustible.

$Q_V$  = Flujo de calor que debe liberar el combustible.

$Q_{com}$  = Flujo de calor contenido en el vapor producido.

$\eta$  = Eficiencia térmica del equipo.


$LHV$  = Poder calorífico inferior del combustible

<i>BHP</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>BHP</i>
10	0.7	14.71429

	<i>BTU/Gal</i>	<i>Gal/m3</i>	<i>Kj/m3</i>	<i>Kj/BTU</i>	<i>BTU/hr</i>
<i>LHV</i>	131.70	264.29	856.00	0.98	682.428,4

Con los cálculos térmicos realizados anteriormente, es posible acercarse al catálogo del fabricante de quemadores italiano Baltur y seleccionar el quemador de la serie BTL modelo BTL 20P del cual se pueden ver los detalles en el anexo 1.

**Figura 21.** Catálogo del fabricante de quemadores italiano Baltur

CONFORM TO: E.M.C DIRECTIVE 2014/30/UE   L.V. DIRECTIVE 2014/35/UE   MACHINERY DIRECTIVE 2006/42/CE   COMMISSION REGULATION E/P 2013/811/UE AND E/P 2013/813/UE   REFERENCE STANDARD EN267.			CE	
 <p><b>Light oil burner. Operation:</b> Adjusting the combustion head. Maintenance facilitated by the possibility of removing the combustion head without having to remove the burner from the boiler. Sliding boiler coupling flange to adapt the blast-pipe to the various types of boilers. Combustion air intake with butterfly valve. Air flow adjustment: Fully closing air damper on shutdown to avoid loss of heat through the chimney. Device made of sound-absorbing material to reduce fan noise. Fuel supply circuit made of gear pump with pressure adjustment and shut-off valves. Flame detection by photoresistance. Electric protection rating: Sound-proof plastic protective cover.</p>		BTL 20	BTL 20 P	
		single-stage	two-stage	
		•	•	
		•	•	
		•	•	
		manual	electric servomotor	
		•	•	
		•	•	
		•	•	
		IP40	IP40	
	•	•		

Fuente: Baltur (s.f.).

### Datos de diseño

- Caldera de 10 BHP
- Caldera horizontal
- Número de pasos 2
- Operación automática
- Caldera sin retorno de gases
- Espejos refractarios.
- Diámetro del casco 42 in
- Presión de trabajo 120 psig
- Presión de diseño 150 psig
- Tipo de combustible Diesel
- Tipo de corriente alterna 220V/60 HZ
- Producción de vapor saturado 3450 lb de vapor por hora, hasta 212 °F

**Para el hogar, el casco exterior y la placa:** se elige el material por SA.285 GRADO C, para el casco exterior, el hogar (soporte de tubos internos) y los anillos de soporte externo:

- Placa de acero ASME SA285 Gr.C BQ

**Especificación:**

- Calidad: placas para recipientes a presión, acero al carbono, resistencia a la tracción baja e intermedia – SA285 Gr.C
- Ancho: 1000mm-4500mm
- Espesor: 5mm-300mm
- Longitud: 3000mm-18000mm
- Producción: laminado en caliente (HR)
- Tratamiento térmico: Laminado / Normalizado/N+T/QT

*Figura 22. Características placa de acero ASME SA285*

ASTM/ASME	ME British Standard	European Norm	Japan	Spain
A/SA285 - Grade C	161 Gr.360/164 Gr.360	P235GH	SPV 24	A 37 RCI

**SA285 GR.C BOILER QUALITY PLATES CHEMICAL COMPOSITION**

C	Mn	P	S	Si	Cu	Al	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti
0.16	0.4/1.2	0.03	0.03	0.35	0.3	0.02	0.3	0.3	0.08	0.01	0.03

**SA 285 GR.C PRESSURE VESSEL PLATES MECHANICAL PROPERTIES**

Tensile strength	Yield strength, min	Elongation in under [50mm]
380-515 MPa	205 MPa	27% min

**Espejos:** se elige material SA.515 GRADO 70, ya que este tiene una mayor dureza, por lo que no afloja los tubos de la caldera:

- Grado: ASME SA 515 GR.70 Placas de acero para calderas y recipientes a presión
- Ancho: 3mm-600mm
- Espesor: 3 – 200 mm/ dimensiones hasta 4.000 mm
- Longitud: 3000mm-11000mm.
- Producción: Laminado en caliente (HR)
- Tratamiento Térmico: Laminado/Normalizado/N+T/QT

**Figura 23.** Material SA.515 GRADO 70

British Standard	European Norm	ASTM/ASME	DIN
BS1501-224-490A/B	EN10028 P355GH	A/SA515 - Grade 70	-

**ASTM A515 GR.70 BOILER QUALITY PLATES CHEMICAL COMPOSITION**

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Ni	Mo	Nb	Ti	V
0.18	0.4	0.95/1.50	0.015	0.008	0.02 (Min)	0.3	0.3	0.3	0.08	0.01	0.03	0.02

**ASTM A515 GR.70 PRESSURE VESSEL PLATES MECHANICAL PROPERTIES**

Tensile strength (ksi)	Yield strength (ksi)	Elongation min, % 200 mm (8 in)	Elongation min, % 50 mm (2 in)
485-620 (70-90)	260 (38)	17	21

**Para los tubos de fuego y los tubos de la caldera:** tubos de acero SA 192 consistentes para la asistencia de alta 97rtícul equivalentes a ASTM 192.

**Figura 24.** Tubos de acero SA 192

Boiler Tube					
Description	Size		Typical Steel Grade	Standards	Typical Applications
	OD (mm)	WT (mm)			
Medium and low pressure boiler tube and pipe	14~720 MM	2.0~120 MM	10	GB 3087	Wall tube, header, steam pipe for medium and low pressure boiler tube and pipe
			20		
High pressure boiler tube and pipe	14~720 MM	2.0~120 MM	20G, 25MnG, 15MoG, 12CrMoG, 15CrMoG, 12Cr2MoG, 12Cr1MoVG	GB 5310	Wall tube, header, steam pipe under the working pressure $\geq 9.8$ MPa, Temperature 450°C ~ 650 °C
			SA106A/B/C	ASME SA106	
			SA179	ASME SA179	
			SA192	ASME SA192	
			T1/T1a	ASME SA209	
			SA210A1/C	ASME SA210	
			T2/P2, T5/P5, T9/P9, T11/P11, T12/P12, T22/P22, T91/P91	ASME SA213, ASME SA335	
			P195/235/265GH, 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10, 15NiCuMoNb5-6-4	EN 10216	
			St35.8, St45.8, 15Mo3, 13CrMo44, 10CrMo910	DIN 17175	
			STPG370, STPG 410	JIS G 3454	
			STPT370, STPT 410	JIS G 3456	
STBA12, STBA22,	JIS G 3462				

### Especificación del cuerpo cilíndrico de la caldera

Según ASME (2013) PF27-2.3.1, se determinan las siguientes ecuaciones para espesores menores de  $\frac{1}{2}$ , con base en los materiales seleccionados anteriormente:

**Para espesores "t" hasta  $\frac{1}{2}$ ":**

$$t = \frac{PR}{0.8SE - 0.6P} \quad P = \frac{0.8SEt}{R + 0.6t}$$

Donde:

t: Espesor mínimo recomendado

P: Presión máxima admisible

R: Radio interior del cilindro

S: Máxima tensión admisible del material

E: Eficiencia de la unión

Tener presente las siguientes notas de referencia según PG-27.4 del código ASME para realizar los cálculos correspondientes.

Para los valores de E, se obtiene la siguiente nota del código ASME (2013):

**NOTAS:**

**1: Valores de E**

E = 1.00 para cilindros sin costura

E = 1.00 para juntas soldadas previendo refuerzos en toda la junta longitudinal.

E = 0.90 para juntas soldadas sin refuerzo en la junta longitudinal.

E = Eficiencias para ligamentos entre aperturas según PG-53

De la ecuación anterior, es posible determinar que la presión máxima admisible permitida para una caldera de 1.066 m (42") de diámetro con un material SA.285 GRADO C será de 1971.9 kPa (286.01 PSI):

<i>t</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>E</i>
0.5	286.0143	42	30000	1

### Especificación de los espejos de la caldera

- El artículo PG-46 del código trata sobre espesores de placa requerida por una determinada presión admisible, influyendo también el espaciamento entre los tirantes.
- El artículo PFT-26 recomienda, para calderas pirotubulares, un valor  $C = 135$  con el fin de hallar un máximo espaciamento o paso.
- Asimismo, el artículo PFT-26.5 expresa que, para tirantes diagonales soldados en calderas horizontales, el paso máximo puede ser más de 0.219m (8 ½"), pero en ningún caso excederá 15 veces el valor del diámetro del tirante.
- Para efectos del diseño, la presión de diseño es de 1034 kPa (150 PSI).
- Tener presente, según código ASME (2013), sección I PFT-9, el mínimo espesor para las placas que portan los tubos, está limitado también por su diámetro. De acuerdo con la siguiente tabla, el diámetro de la caldera es de menos de 36". Lo cual limita el espesor de los portadores de tubos en 0.006335 m (¼"):

**Tabla 7.** Espesor mínimo para placas según el diámetro

Diámetro de la placa	Espesor mínimo
Hasta 0.9144m (36")	0.00635 m (1/4")
De 0.9144 m a 1.3716m (36" a 54")	0.0079375m (5/16")
De 1.3716 m a 1.8288 m (54" a 72")	0.009525 m (3/8")
Más de 1.8288m (72")	0.0127 m (1/2")

Para calderas pirotubulares, se recomienda  $C = 135$  y con el fin de hallar un máximo espaciado o paso de refuerzos.

$$P = \frac{T^2 * C}{p^2}$$

*Dónde:*

- *T: Espesor de la placa requerida, expresada en 16<sup>avos</sup> de pulgadas.*
- *P: Máxima presión de trabajo admisible (PSIG)*
- *p: Máximo paso medido entre los centros de dos tirantes adyacentes en la placa, esta distancia puede ser en forma vertical, horizontal o diagonal en pulg*
- *C: Constante que varía según el tipo de tirante.*

T	C	p	P
4	135	3.794733	150

### **Cálculo del Hogar de la caldera**

Es importante mencionar que la cámara de combustión o Hogar se conforma de láminas planas, estas son roladas en frío para luego ser soldadas.

#### **Cálculo del diámetro del hogar**

Presión de diseño, se conoce que: 150 PSI.

ASME (2013) recomienda que el diámetro exterior del Hogar esté dentro del rango de 35 al 50% del diámetro interior del casco o diámetro de la placa. Por lo tanto, se considera el diámetro exterior del Hogar:

$D = 21''$  que equivale al 50% del diámetro de la placa (42'')

#### **Cálculo del espesor(t), altura de anillo(hr) y espesor de anillo(tr) para el hogar**

Para el caso del Hogar reforzado con anillos, la norma ASME (2013) Sección I PFT-17 del código explica las reglas para el cálculo de este tipo de Hogar. Las condiciones para cumplir, previas al cálculo, son:

***Espesor del anillo: Tr***

$5/16'' \leq Tr \leq 13/16''$

$Tr \leq 1.25t$

**Relación altura-espesor del anillo: Hr/Tr**

$$3 \leq Hr/Tr \leq 8$$

Espesor mínimo del Hogar:  $t = 0.0079375\text{m}$  (5/16")

Espaciamiento L: menor que  $1.0668\text{m}$  (42")

Temperatura de diseño de Hogar =  $385^\circ\text{C}$  ( $725^\circ\text{F}$ )

**Los lineamientos por seguir para las dimensiones del Hogar son:**

Se asume el valor de  $t$  y  $L$ , se determina las relaciones  $L/D$  y  $D/t$

$$t = 0.0127\text{ m } (\frac{1}{2}\text{"}) \quad L = 2.54\text{ m } (100\text{"})$$

L	D	t	D/t	L/D	B	Pa
100	21	0.5	42	4.761905	12000	285.7143

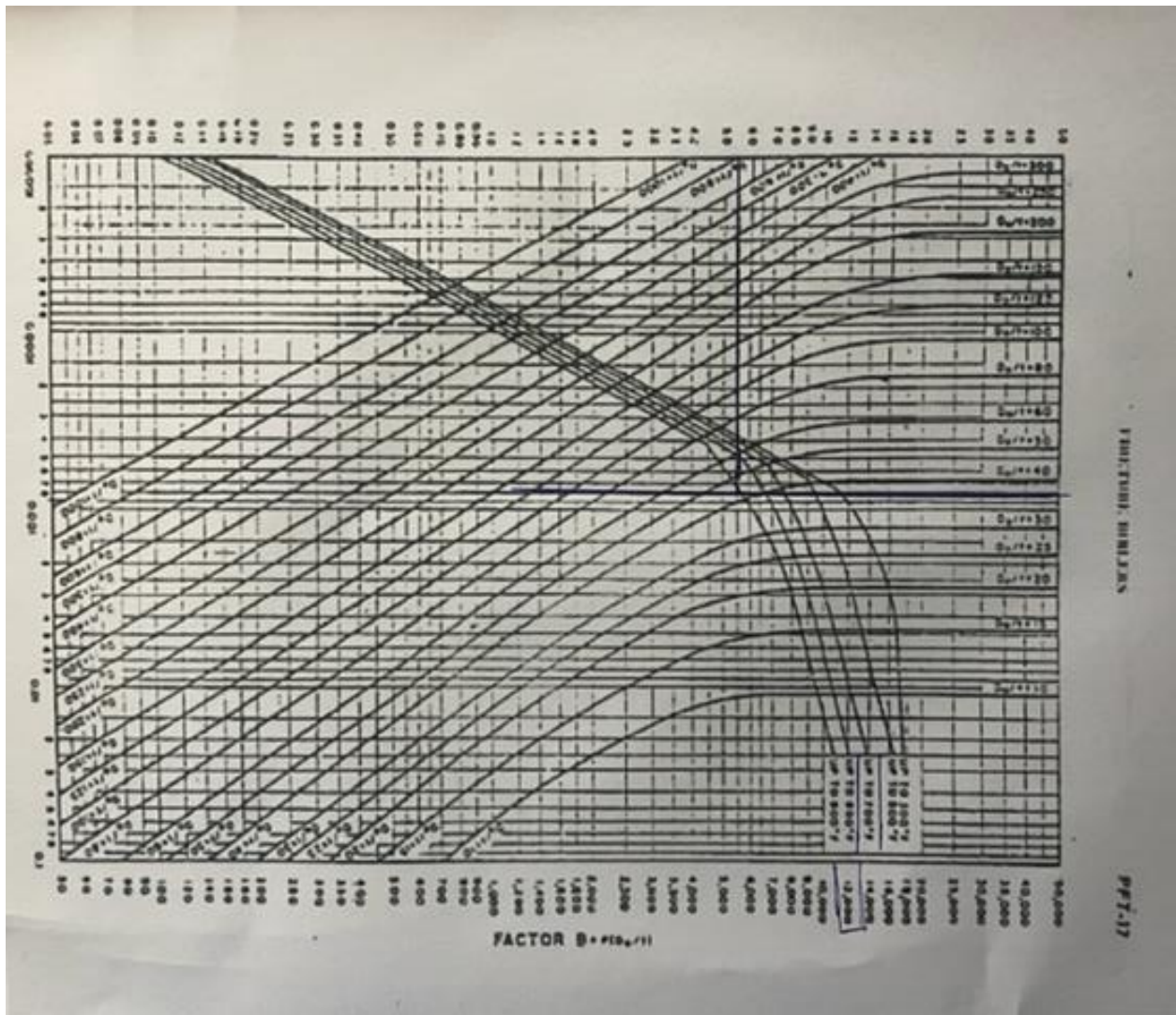
Para este cálculo de presión máxima admisible, se compara la presión de diseño versus la presión máxima, 150 es menor que 285 PSI, que resulta del cálculo. Es admisible y esta última debe ser mayor, esto con el fin de verificar que el diseño sea elaborado de forma correcta.

Una vez conocidas las  $D$ ,  $L$ ,  $t$ , se asumen valores de  $Hr$  y  $Tr$  y sabiendo que debe cumplir las siguientes condiciones previas al cálculo del Espesor del Anillo  $Tr$ :

- Sabiendo que:  $t = \frac{1}{2}\text{"}$
- $Tr$  Menor que  $1.25 * \frac{1}{2} = 0.625\text{"}$

Se obtiene que espesor del anillo  $Tr = 0.015875\text{m}$  (5/8")

Figura 25.



### Cálculo de tubos de fuego

El código ASME (2013) en su artículo PFT-12 establece las necesidades de espesor de la línea de acción de los tubos de fuego, y obtiene así la mayor presión de trabajo razonable.

#### Cálculo del espesor del tubo

De la tabla PTF 12.1 se elige una medida de tubo de 0.508 m (2") con un grosor de 0.002413 m (0,095") de 1447.9 kPa (210 PSI) para una transferencia de calor de máxima capacidad (Tabla 8).

Tabla 8. Tabla PFT-12.1

PIPE		PRESSURE-PSI		WATER HAMMER FACTOR	PIPE		PRESSURE-PSI		WATER HAMMER FACTOR
NOM. SIZE INCHES	SCH. NO.	WORKING	BURST		NOM. SIZE INCHES	SCH. NO.	WORKING	BURST	
1/8	40	3500	20,200		2½	160	4200	15,700	5.43
1/8	80	4800	28,000		2½	XXS	6900	23,000	7.82
1/4	40	2100	19,500		3	40	1600	7,400	2.60
1/4	80	4350	26,400		3	80	2600	10,300	2.92
3/8	40	1700	16,200		3	160	4100	15,000	3.56
3/8	80	3800	22,500		3	XXS	6100	20,500	4.64
1/2	40	2300	15,600	63.4	3½	40	1500	6,800	1.94
1/2	80	4100	21,000		3½	80	2400	9,500	2.17
1/2	160	7300	26,700		4	40	1400	6,300	1.51
1/2	XXS	12300	42,100		4	80	2300	9,000	1.67
3/4	40	2000	12,900	36.1	4	160	4000	14,200	2.08
3/4	80	3500	17,600	44.5	4	XXS	5300	18,000	2.47
3/4	169	8500	25,000		5	40	1300	5,500	.960
3/4	XXS	10000	35,000		5	80	2090	8,100	1.06
1	40	2100	12,100	22.3	5	160	3850	13,500	1.32
1	80	3500	15,900	26.8	5	XXS	4780	16,200	1.49
1	160	5700	22,300	36.9	6	40	1210	5,100	.666
1	XXS	9500	32,700	68.3	6	80	2070	7,800	.738
1¼	40	1800	10,100	12.9	6	160	3760	13,000	.912
1¼	80	3000	13,900	15.0	6	XXS	4660	15,000	1.02
1¼	160	4400	18,100	18.2	8	40	1100	4,500	.385
1¼	XXS	7900	27,700	30.5	8	80	1870	6,900	.422
1½	40	1700	9,100	9.46	8	160	3700	12,600	.529
1½	80	2800	12,600	10.9	8	XXS	3560	12,200	.519
1½	160	4500	17,700	13.7	10	40	1030	4,100	.244
1½	XXS	7200	25,300	20.3	10	*80	1800	6,600	
2	40	1500	7,800	5.74	10	160	3740	12,500	.340
2	80	2500	11,000	6.52	10	XXS	3300	11,200	
2	160	4600	17,500	8.60	12	@40	1000	3,800	
2	XXS	6300	22,100	10.9	12	**80	1800	6,500	
2½	40	1900	8,500	4.02	12	160	3700	12,300	.239
2½	80	2800	11,500	4.54	12	XXS	2700	9,400	

#### Cálculo de la cantidad de tubos de fuego

Para estimar la cantidad de tubos requerida en esta caldera, se consideran los parámetros y cálculos hasta el momento, los cuales se describen, a continuación:

- Diámetro de la placa: 1.3208m (42")
- Diámetro exterior del hogar: 0.5334m (21")
- Diámetro exterior del tubo: 0.0508m (2")
- Número de pasos: 2

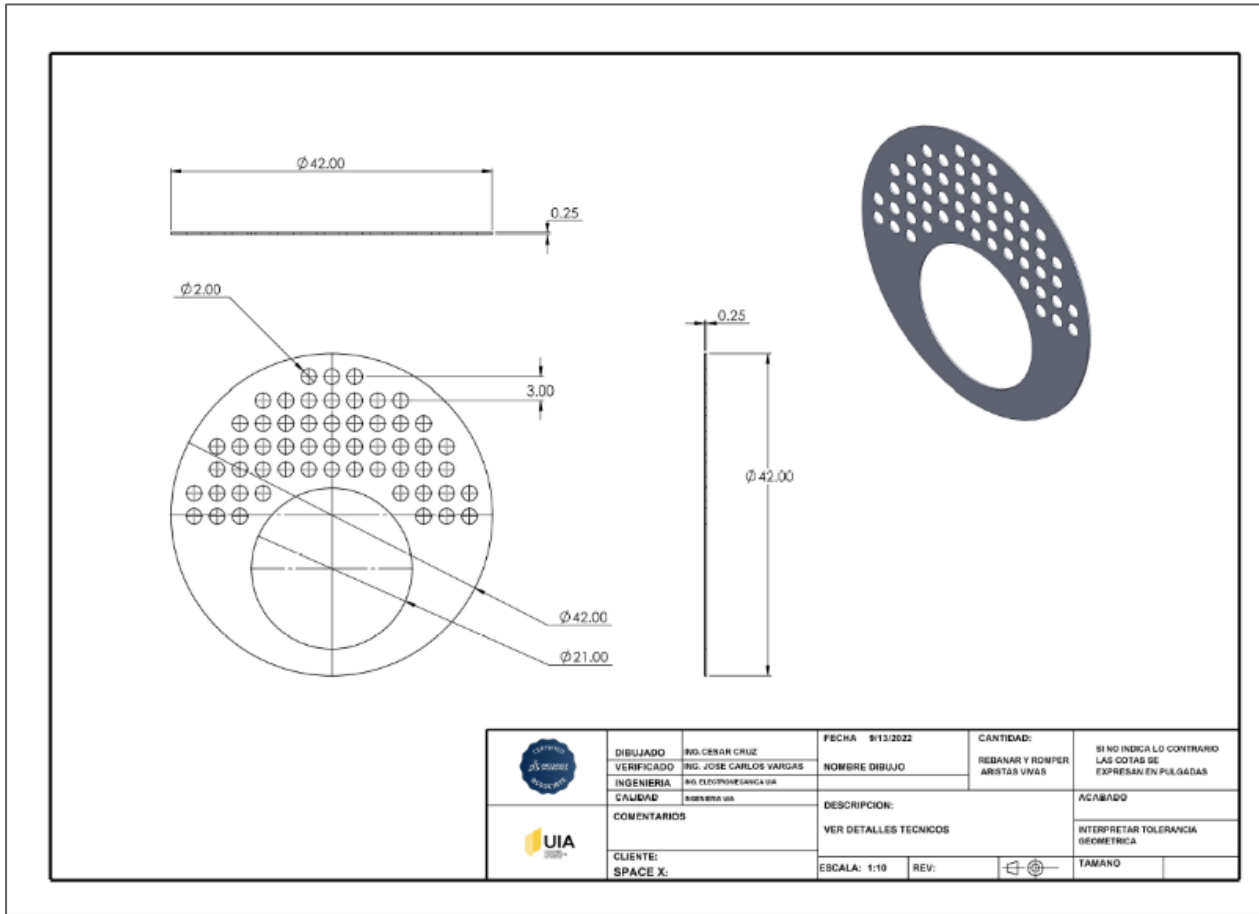
Para este caso, se elige la línea recta y el punto focal de la chimenea estará por debajo del punto focal de la placa (las dos líneas focales pueden coincidir centros dependiendo del plano). Además, se debe recordar que, en la caldera, habrá dos zonas muy bien demarcadas: la zona inferior o de agua y la zona superior o de vapor. El nivel diametral de la cámara de vapor está prescrito para estar en el ámbito del 15 al 35% de la distancia interna a través del cuerpo o medida de la placa del cilindro:

*Cantidad de tubos = diámetro de la placa \* Regla ASME*

*Cantidad de tubos = 42" \* 0.2 = 2.1336m (84")*

Esencialmente, se sugiere que la separación entre tubos debería ser de alrededor de 0.0254m (1"). De ahí que se comience a detallar la placa porta tubos demostrando el hogar y la cantidad de tubos de 2" de ancho que alcanzarían; suponiendo que, en el segundo paso (lado inferior), llegaran 55 tubos de 0.0528 m (2") de espesor.

Figura 26. Especificaciones de los tubos de fuego



### Cálculo de la longitud de tubos

Para el cálculo de la longitud de los tubos, se debe considerar un apartado importante demarcado dentro de la norma ASME (2013) en su apartado 1.4.4.3; donde se menciona que, por cada BHP de calefacción, se considera un área recomendada de 5'. Este apartado solo aplica para calderas del tipo pirotubular, horizontales.

**Tabla 9.** Datos para el cálculo de la longitud de tubos

Ítem	Simbología	Valor
Longitud de los tubos	$L_t$	0.0508 m (2")
Diámetro ext. Del hogar	$D_o$	0.5334 m (21")
Numero de tubos	$N_t$	1.397 m (55")
Superficie de calefacción	$S_c$	1.27 m (50")
Diámetro ext. De los tubos	$D_t$	0.0508 m (2")
Número de hogares	$N_f$	1
Espesor de las placas	$e_{p,25}$	0.00635 m (1/4")
Espesor de los tubos	$e_t$	0.002413 m (0.095")
Número de placas	$N_p$	2
Potencia de la caldera	$Q$	10 BHP
Espesor del hogar	$e_f$	0.0127 m (1/2")
Diámetro de las placas	$D_p$	1.0668 m (42")
Longitud entre placas	$L_p$	

Debido a lo expuesto anteriormente, se tiene:

$$S_c = N_t S_t + N_f S_f + N_p S_p$$

Donde:

**$S_t$** : Superficie de calefacción de un tubo

**$S_f$** : Superficie de calefacción del hogar

**$S_p$** : Superficie de calefacción de una placa porta tubo

#### **Cálculo de superficie de calefacción de un tubo ( $s_t$ )**

$$S_t = \pi(D_t - 2e_t)L_p$$

$$S_t = \pi(2 - 2 \times 0.095)L_p$$

$$S_t = 0.003651 \text{ m}^2 (5.668L_p \text{ pulg}^2)$$

***Cálculo de superficie de calefacción del hogar (sf)***

$$S_f = \pi(D_o - 2e_f)L_p$$

$$S_f = \pi(21 - 2 \times 1/2)L_p$$

$$S_f = 0.04053 \text{ m}^2 (62.83L_p \text{ pulg}^2)$$

***Cálculo de la superficie de transferencia de calor de la placa portatubo sp***

$$S_p = \frac{\pi D_p^2}{4} - N_t \frac{\pi D_t^2}{4} - N_f \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$S_p = \frac{\pi(42)^2}{4} - 55 \frac{\pi(2)^2}{4} - \frac{\pi(21 \text{ in})^2}{4}$$

$$S_p = 0.5588 \text{ m}^2 (866.29 \text{ in}^2)$$

***Cálculo de la longitud de los tubos***

$$S_c = N_t S_t + N_f S_f + N_p S_p$$

$$50 \text{ ft}^2 \times 144 \text{ pulg}^2 = 55(5.668L_p) + 1(62.83L_p) + 2(866.29)$$

$$L_p = 0.6052 \text{ m (23.83") de longitud cada tubo}$$

Los extremos de los cilindros que se prescriben deberán ser de un 1,8" más largo de lo calculado. Lo que permitirá más tarde jugar con la extensión individual, expandido y rebordado de los tubos.

$$L_p = 0.6122 \text{ m (24.125") cada tubo}$$

***Tirantes de refuerzo en placas portatubos***

Según ASME (2013) sección PFT-30.2, al ser una caldera menor a 40 BHP y medir menos de 30" de longitud sus tubos y también cumplir con la construcción de espalda seca, este diseño no cuenta con refuerzos en portatubos, por lo cual se omite esta sección del ASME (2013). Los portatubos estarán fijados a la carcasa de la caldera por medio de soldadura y no tendrá tirantes de refuerzos.

### Cálculo del casco de la caldera

Es fundamental especificar que la estructura está formada por chapas planas, que se arquean y se laminan en frío; posteriormente, se sueldan. Se sugiere como una manera de sentido común que la desviación diametral de esta parte no debe superar una vez el espesor de esta, sin embargo, debe ser constantemente visto como el margen de maniobra vital para el trabajo de soldadura resultante- y así garantizar una unión mecánica de alta confiabilidad.

### Cálculo del espesor de la cáscara

En la sección PG-27 del código ASME (2013) que gestiona las piezas en forma cilíndricas y elementos de presión, el PG-27.2.3.1 da las condiciones adjuntas. Para espesores “t” hasta 0.0217 (½”):

$$t = \frac{P * R}{0.8S * E - 0.6P} \quad P = \frac{0.8S * E * T}{R + 0.6t}$$

Donde:

E = Eficiencia de la unión (adimensional)

S = Máxima esfuerzo admisible del material (PSI)

y = Coeficiente de temperatura (adimensional)

P = Presión máxima admisible = 150 PSIG.

R = Radio interior del cilindro = 0.5 m (21”).

T = Espesor mínimo recomendado (pulg.)

Fíjese en las notas de referencia adjuntas, según la PG-27.4 del código ASME (2013), para reproducir las estimaciones correspondientes:

E = 1,00 para cámaras consistentes (camisas sin costuras)

E = 1,00 para juntas soldadas con apoyo en toda la junta longitudinal.

E = 0,90 para juntas soldadas sin apoyo en la junta longitudinal.

E = Eficiencia para ligamentos entre aberturas según PG-53.

Para el valor de S, la temperatura de trabajo del material utilizado no puede ser tomado menor que la temperatura media del ambiente, lo cual no podrá asumirse menor de 700°F.

<i>Temperatura °F</i>	<i>900 y menor</i>	<i>950</i>	<i>1000</i>	<i>1050</i>	<i>1100</i>	<i>1150 y más</i>
<i>Acero Ferrítico</i>	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
<i>Acero Austénico</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

y: coeficiente que toma las cualidades de los siguientes valores.

Para esta situación, para materiales no ferrosos:  $y = 0,4$ . Por lo tanto, siguiendo con el diseño y esperando que el espesor no sea exactamente  $\frac{1}{2}$  pulgada, se aplica la condición. Donde S se adquiere de la tabla PG-23.1 Tablas 1ª y 1B de ASME área II parte D. Se elige el material acero al carbono ASTM 285 °C, en esa tabla, realmente se determina que, para una temperatura de 700°F, S equivale a 13300 PSI.

Además, E equivaldrá a 1,00 adquirido de la nota de referencia nº 1 del PG-27.4 del código ASME (2013) sección 1. Reemplazando se adquieren los siguientes valores:

$$t = \frac{150(21)}{0.8(13300)(1.00) - 0.6(150)}$$

$$t = 0.007366 \text{ m (0.29")}$$

Además, cuando la región en la que va a trabajar la caldera tendrá probablemente problemas de consumo, debido a las circunstancias climáticas y de trabajo, se prescribe aumentar el espesor de esta base hasta  $\frac{1}{16}$ " (0,0625"):

$$t = 0.29 + 0.0625$$

$$t = 0.009525 \text{ m} = 0.009525 \text{ m} \left(\frac{3}{8}; \text{ lamina comercial} \right)$$

### **Cálculo de la longitud circunferencial del casco: Lc**

$$Lc = \pi(D - tc) \text{ pulg}$$

Donde:

D: diámetro interior del casco = 1.0668 m (42").

Tc: espesor del casco = 0.009525 m (3/8").

$$Lc = \pi(42 - 3/8)$$

$$Lc = 3.302 \text{ m (130")}$$

El material por utilizar para la estructura será acero al carbono calidad ASTM 285 °C de 0.009525 m (3/8”) de espesor y 1.0668 m (42”) de medida interior.

### **Cálculo de la longitud de la carcasa (Lc)**

Considerando que la caldera por construir es de uno con una cámara seca en la parte trasera, se sugiere que la profundidad trasera (PP) entre la placa transportadora del tubo trasero y la tapa trasera debe ser superior al 13% o a la anchura de la carcasa y la profundidad delantera (PD) entre la placa transportadora del cilindro delantero y la página de introducción debe ser superior al 14% o a la anchura de la carcasa para permitir un buen flujo de los gases de encendido.

Posteriormente, teniendo en cuenta la profundidad trasera (PP) equivalente a 15 pulg., además, la profundidad delantera (PD) equivalente a 11 pulg., se obtiene:

$$L = PD + 2ep + Lp + PP$$

Donde

ep: espesor de las placas de la línea = 0.009525 m (3/8”).

Lp : longitud entre placas = 1.524 m (60”).

Supliendo:

$$L = 15 + 2(3/8) + 60 + 11$$

$$L = 1.24478 \text{ m (57”)}.$$

### **Cálculos generales de la caldera**

#### **Cálculo del acople mecánico (flange) para la salida de vapor de agua**

La evaporación del aquí que se producirá en la caldera y después se liberará de ella tiene que ser movida de un lugar a otro. Según el código ASME (2013), en cuanto a la velocidad recomendada según la presión de operación, sugieren la tabla adjunta:

**Tabla 10.** Valores del cálculo del acople mecánico (flange) para la salida de vapor de agua

<b>De 0 a 50 PSI</b>	<i>velocidad de 4000 a 6000 pies/min</i>
<b>De 50 a 199 PSI</b>	<i>velocidad de 600 a 10000 pies/min</i>
<b>De 200 PSI a más</b>	<i>velocidad de 7000 a 12000 pies/min</i>

Para este cálculo, se hace uso de la tabla del código ASME (2013) que habla sobre vaporización, la cual se muestra seguidamente.

Figura 27. Código ASME

Feed-Water Temp.	Gauge Pressure — psig																		
	0	2	10	15	20	40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200	220	240	
30	29.0	29.0	28.8	28.7	28.6	28.4	28.3	28.2	28.2	28.1	28.0	28.0	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.8
40	29.3	29.2	29.1	29.0	28.9	28.7	28.6	28.5	28.4	28.3	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.1	28.1	28.1
50	29.6	29.5	29.3	29.2	29.1	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3	28.3	28.3
60	29.8	29.8	29.6	29.5	29.4	29.2	29.1	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.7	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.5
70	30.1	30.0	29.9	29.8	29.7	29.5	29.4	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9	28.9	28.9	28.8	28.8	28.8	28.8
80	30.4	30.3	30.1	30.0	30.0	29.8	29.6	29.6	29.5	29.3	29.2	29.2	29.2	29.2	29.1	29.1	29.1	29.1	29.0
90	30.6	30.6	30.4	30.3	30.2	30.0	29.9	29.8	29.7	29.6	29.5	29.5	29.4	29.4	29.4	29.3	29.3	29.3	29.3
100	30.9	30.8	30.6	30.6	30.5	30.3	30.2	30.1	30.0	29.8	29.8	29.8	29.7	29.7	29.7	29.6	29.6	29.6	29.5
110	31.2	31.2	30.9	30.8	30.8	30.6	30.4	30.3	30.2	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	29.9	29.9	29.8	29.8	29.8
120	31.5	31.4	31.2	31.2	31.1	30.8	30.7	30.6	30.5	30.4	30.3	30.3	30.2	30.2	30.2	30.1	30.1	30.1	30.1
130	31.8	31.7	31.5	31.4	31.4	31.1	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6	30.6	30.5	30.5	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4
140	32.1	32.0	31.8	31.7	31.6	31.4	31.3	31.2	31.1	31.0	30.9	30.8	30.8	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.6
150	32.4	32.4	32.1	32.0	31.9	31.7	31.6	31.5	31.4	31.2	31.2	31.2	31.1	31.1	31.0	31.0	30.9	30.9	30.9
160	32.7	32.7	32.4	32.4	32.3	32.0	31.9	31.8	31.7	31.5	31.4	31.4	31.4	31.4	31.3	31.3	31.2	31.2	31.2
170	33.0	33.0	32.7	32.6	32.6	32.3	32.2	32.1	32.0	31.8	31.7	31.7	31.7	31.6	31.6	31.6	31.5	31.5	31.5
180	33.4	33.3	33.0	33.0	32.9	32.6	32.5	32.4	32.3	32.2	32.1	32.0	32.0	32.0	31.9	31.9	31.8	31.8	31.8
190	33.8	33.7	33.4	33.3	33.2	32.9	32.8	32.7	32.6	32.5	32.4	32.4	32.3	32.3	32.2	32.2	32.1	32.1	32.1
200	34.1	34.0	33.7	33.6	33.5	33.2	33.1	33.0	32.9	32.8	32.7	32.6	32.6	32.6	32.6	32.5	32.4	32.4	32.4
212	34.5	34.4	34.2	34.1	33.9	33.6	33.5	33.4	33.3	33.2	33.1	33.0	33.0	33.0	32.9	32.9	32.8	32.8	32.8

Fuente: ASME (2013)

A partir de la tabla de vaporización, y teniendo como premisa que la es de 10 BHP y la temperatura del agua es de 60°F, se comprueba que el factor de disipación que relaciona la capacidad de la caldera con la presión del plan será equivalente a 29,5, considerando que la presión del plan es de 150 PSI, se elabora la corriente másica para esta presión:

$$\dot{m}_{(150)}^o = f_{ev} \times \text{Potencia de la caldera}$$

$$\dot{m}_{(150)}^o = 29.5 * 100$$

$$\dot{m}_{(150)}^o = 1338 \frac{kg}{h} (2950 \text{ libras de vapor / h})$$

Ahora se retoma la tabla de vapor saturado, para calcular el volumen específico del vapor a 150 PSI, lo cual indica que es 2.75ft<sup>3</sup>/lb:

**Tabla 11.** *Tabla de vapor saturado*

PRESIÓN MANOMÉTRICA (PSIG)	PRESIÓN ABSOLUTA (PSIA)	TEMP. DEL VAPOR (°F)	CALOR DE LÍQUIDO SAT. (BTU/LB)	CALOR LATENTE (BTU/LB)	CALOR TOTAL DEL VAPOR (BTU/LB)	VOLUMEN ESPECÍFICO DE LÍQUIDO SAT. (PIES <sup>3</sup> /LB)	VOLUMEN ESPECÍFICO DE VAPOR SAT. (PIES <sup>3</sup> /LB)
140,3	155,0	360,50	333,24	861,3	1194,6	0,018121	2,92
<b>150,3</b>	<b>165,0</b>	<b>365,99</b>	<b>338,53</b>	<b>857,1</b>	<b>1195,6</b>	<b>0,018183</b>	<b>2,75</b>
160,3	175,0	370,75	343,57	852,8	1196,5	0,018244	2,60
	450,0	456,28	437,20	767,4	1204,6	0,019547	1,03

Con la información de la tabla anterior, se procede a calcular el diámetro recomendado del acople soldable que debe ser parte de la carcasa de la caldera. Recapitulando los datos obtenidos anteriormente:

$$m = \text{Flujo de vapor a 150 PSIG} = 2950 \text{ lbs hr}$$

$$V: \text{velocidad de tabla} = 8000 \text{ pies min}$$

$$v: \text{volumen específico del vapor} = 2.76 \text{ pie}^3 / \text{lb.}$$

$$A: \text{Área del acople soldable (pulg}^2\text{)}$$

$$A = \frac{m \cdot v}{V} = \frac{2950 \times 2.75}{8000} \times \frac{144 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^2} \times \frac{1 \text{ Hr}}{60 \text{ min}}$$

$$A = 2.45''$$

Con el dato suministrado, se calcula el diámetro interno del acople:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$2.45 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$D = 0.0439 \text{ m}$  (1.73") siendo el próximo superior comercialmente hablando sería un acople soldable de  $0.04445 \text{ m}$  (1 3/4").

Sabiendo igualmente que la caldera por planificar producirá 2950 libras de vapor/Hr a presión barométrica, se quiere introducir esta medida equivalente de agua a la caldera; sabiendo, además, que el agua entrará a 60°F como mínimo; en la tabla se adquiere el volumen particular de

agua a esta temperatura que es  $v = 0.119938$  galones/libra. En consecuencia, se obtiene una progresión similar de agua que entrará en la caldera a partir de la condición adjunta:

$$\overset{o}{V} = \overset{o}{m} * v$$

Donde:

$m$ = Flujo de agua en galones/min (GPM)

$m$ = flujo de masa de agua mínima = 2950 lb/Hr

$v$ =volumen específico = 0.119938 galones/lb

$$\overset{o}{V} = 2950 \frac{lb}{Hr} \times 0.119938 \frac{galones}{lb} \times \frac{1Hr}{60min}$$

Se asegura que el caudal que entra en la caldera sea el doble o incluso el triple que el caudal base. Para este cálculo, se constituye en un  $V= 6$  GPM y una presión máxima de 150 PSI.

A pesar de las tablas, se debe considerar una velocidad entre 150 y 300 ft/min que es la sugerida para los flujos de agua en general. Para las estimaciones, se piensa en 150 ft/min que es la más básica. En este sentido:

$$\overset{o}{V} = 6 \frac{\text{galones}}{\text{min}} \frac{231 \text{pul}^3}{1 \text{galon}} \frac{1 \text{pie}^3}{(12 \text{pul}^3)}$$

$$V=0.05474 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (116 ft}^3/\text{min)}$$

$$A = \frac{\overset{o}{V}}{V}$$

$$A = \frac{116}{150} = 0.02560 \text{ m} \text{ (1.008")}$$

Con los datos obtenidos, se calcula el diámetro requerido:

$$D = \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \times 1.0086}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D=0.028702 \text{ m} \text{ (1.13")}$$

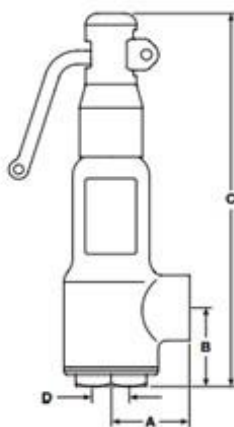
El diámetro mínimo de alimentación de la caldera será de 0.03175 m (1 ¼").

### Acople para válvula de seguridad

Como marco de seguridad mecánica, se prescribe introducir al menos una válvula de seguridad que esencialmente libere similar medida de libras de vapor/Hr que se producirá en la caldera. Se elige la válvula de seguridad con un acoplamiento soldable de 0.0254 m (1") de ancho x 1103 kPa (160 psig) de vapor.

Según el Reglamento de Calderas de Costa Rica (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 1998), esta caldera deberá tener dos válvulas de seguridad con estas mismas características, pero con un ajuste mecánico diferente, lo cual será realizado durante el proceso de operación de la caldera.

*Figura 28. Acople para válvula de seguridad*



	Tamaño	Conexión		A	B	C	Ø Caudal	Peso
		Entrada	Salida				D	
Roscada BSPF x BSPF o NPTF x NPTF	DN15	½"	¾"	40	40	194	12	1,3
	DN20	¾"	1¼"	55	44	229	20	2,4
	DN25	1"	1½"	60	48	242	24	2,9
	DN32	1¼"	2"	70	58	279	29	4,2
	DN40	1½"	2½"	81	67	365	37	8,8
	DN50	2"	3"	96	80	420	46	13,0
Conexión sanitaria	DN15	½"	¾"	40	55	209	12	1,4
	DN20	1"	1¼"	55	60	245	20	2,6
	DN25	1"	1½"	60	64	258	24	3,1

*Fuente: Spirax Sarco (s.f.)*

### Acople soldable para purga de espuma

Al darse cuenta que en el corte entre el agua y el vapor se creará en general espuma, la cual puede ser arrastrada por el vapor en el momento en que este es liberado de la caldera, provocando que el vapor no salga seco, sino que arrastre humedad; se prescribe limpiar esta espuma de vez en cuando, por lo que se incluye para este diseño introducir un acople soldable más con cordón de una

pulgada de medida x 160 psig, de una marca similar a la de la alimentación de agua, el cual debe estar asociado a la línea de canalización o al tanque de limpieza, en caso de que lo haya.

### **Manhole de inspección (Tortuga)**

Las tortugas de inspección seleccionadas son certificadas para su uso a la presión y temperatura nominales estampadas en cada placa. Además, la presión de diseño para la placa de orificio de mano de 3 x 4 es de 500 PSI a 650° F y se ha determinado mediante pruebas hidrostáticas según los procedimientos del Código ASME. Así mismo, el material utilizado en la fabricación de las placas y anillos de pozo de registro y boca de mano se ajusta a las especificaciones del Código ASME.

### **Acoplamiento para medición de temperatura en la chimenea**

Para controlar la temperatura de salida de gases de la caldera a través de su chimenea, se prescribe colocar un acople soldable con una medida de 0.0127 m (½”) x 2068.43 kPa(300 psig). Poner un termómetro en la chimenea para tener la opción de comprobar en caso de que la temperatura de los gases o de la salida de la chimenea sea superior a la temperatura de rocío de estos gases, y debe ser controlada.

### **Diámetro de la chimenea**

Dando cuenta que la fuente productora de calor está dada por la combustión que se genera en el hogar y pasa a través de los cilindros como gases, los cuales deben salir de las calderas por la chimenea, en consecuencia, la chimenea debe tener 9 ¾ pulg. De ancho, ya que el Código ASME (2013) sugiere que, para calderas de:

- Hasta 1.0668 (42”), de ancho 0.2475 m (9 ¾”). De chimenea  $\Phi$
- De 1.2192 m (48”) a 1.524 m (60”). De ancho 0.2921 m (11 ½”) de chimenea  $\Phi$
- A partir de 1.6256 m (64”) de ancho 0.3683 m (14 ½”) de ventilación  $\Phi$

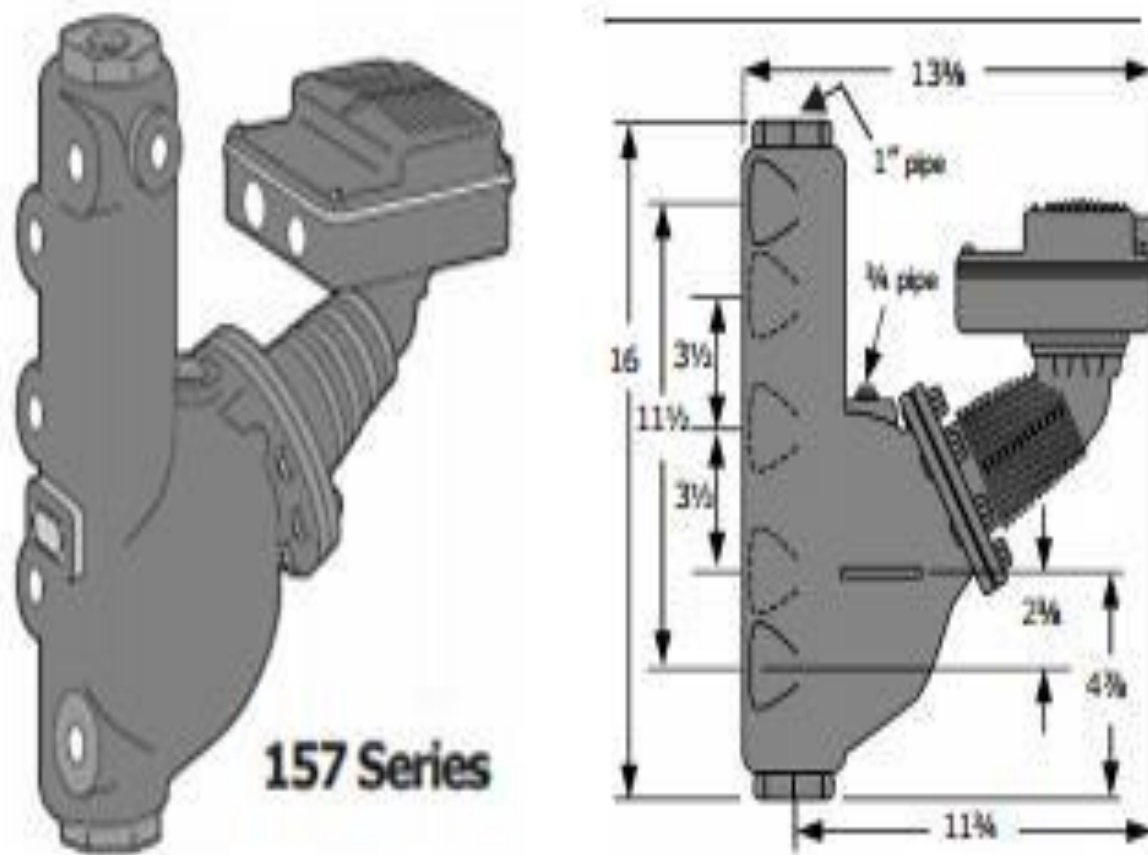
### **Tapas metálicas, anterior y posterior**

Deben ser de chapa primaria de calidad ASTM 283, de ¼ de pulgada de espesor cuando la estructura tenga 1.0668 m (42”) de ancho interior.

### Elección del controlador de nivel de agua de la caldera

Se eligió un control de nivel de tipo on-off, que funcionaba con precisión mediante un flotador y un interruptor en miniatura, especialmente para calderas, de la marca McDonnell y Miller, referencia M157s, más conocida en el mercado como McDonnell 157. Este instrumento fue escogido por el hecho de que tiene una mirilla y purga de nivel, además de ser un control profundamente sólido y generalmente utilizado en el negocio. Este control tiene tres grados de cambio que son: el nivel más extremo, el nivel menor y la precaución de nivel bajo. Para conocer más detalles técnicos, ver la ficha técnica en el anexo 2.

*Figura 29. Controlador de nivel de agua de la caldera*



*Fuente: Spirax Sarco (s.f.)*

### Elección del controlador de apagado por alta presión

Se eligió un control de nivel de tipo *on-off*, que funcionaba con precisión mediante un flotador y un interruptor en miniatura, especialmente para calderas de la marca Honeywell, referencia L404F1102. Este instrumento fue escogido por el hecho de que tiene un control de presión ajustable dentro del rango de operación de la caldera; además, es muy popular dentro del comercio nacional, lo cual hace fácil conseguir refacciones y reemplazo inmediato. Para conocer más detalles técnicos, ver la ficha técnica en el anexo 3.

*Figura 30. Controlador de alta presión*



*Fuente: Honeywell (s.f.).*


### Elección del segundo controlador de bajo nivel de agua de la caldera

Se eligió un control de nivel de tipo *on-off*, que funcionaba con precisión mediante un flotador y un interruptor en miniatura, especialmente para calderas de la marca McDonnell y Miller, referencia M193s, más conocida en el mercado como McDonnell 193. Este control tiene su función de apagar la caldera cuando el nivel está por debajo del primer nivel; este básicamente es un dispositivo de seguridad para preservar la integridad de la caldera. Para conocer más detalles técnicos, ver la ficha técnica en el anexo 4.

### Elección del sistema de control de presión

Se eligió un presostato Honeywell, cuyas necesidades prácticas se muestran en la siguiente tabla:


**Tabla 12.** Especificaciones del sistema de control de presión

	Aplicaciones	Control de presión aire, vapor y gases no corrosivos
	Rango de operación (psi)	10 a 150 psi
	Rango de Temperatura (°C)	-35 a 66 °C
	Diferencia de presión (psi)	10 a 22 Psi
	Tipo de diferencial	Sustracción
	Conexión	Racor tipo macho NPT de ¼"
	Elemento sensor	Diafragma de acero inoxidable
	Dimensiones (in)	4 31/32 largo 4 ½ alto
	Máxima presión de trabajo sostenida (psi)	225 psi
	Conexiones eléctricas	Terminal atornillado
	Alimentación	120- 240V

### Selección del manómetro de presión

Según ASME (2013), el área I, PG-60.6.1 establece que la graduación para comprobar la presión debe ser alrededor de dos veces la presión establecida de la válvula de seguridad. Se eligió un manómetro de presión modelo 10001 de la lista de productores de DE WHT:

**Tabla 13.** Especificaciones del manómetro de presión

	Exactitud	+/- 1% del total de la escala
	Elemento	Tubo bourbon de acero inoxidable AISI-316
	Conexión	Acero inoxidable AISI-316 ½" N.P.T. inf.
	Mecanismo	Acero inoxidable AISI-304
	Ventana	Cristal inastillable
	Carátula	Aluminio fondo blanco, números negros
	Aguja	Aluminio esmaltado negro con ajuste micrométrico (para tamaños 100 y 160 mm)
	Tamaños	4 in
	Rangos	0 a 210 psi

### Plan de mantenimiento caldera diseñada

Desglose de los elementos mecánicos que componen la caldera. La tabla siguiente es un desglose de los elementos que componen el eje principal del equipo y los módulos de desarrollo de energía, donde se da una breve descripción de sus capacidades, un resumen de las partes que componen la caldera y los posibles daños que pueden ocurrir en él.

**Tabla 14.** Resumen de las partes de la caldera (Módulo principal)

Sistemas	Descripción	Componentes	Posibles fallas
Conjunto de transferencia de calor.	La organización de los tubos y las cámaras están en contacto con el agua, dentro de la cual los gases calientes son entregados por curso de combustión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentador de primer paso</li> <li>• Cámara de gas delantera consumo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desfiguración</li> <li>• Ensuciamiento</li> <li>• Parada por agregación de residuos</li> <li>• Hollín</li> </ul>
Conjunto de comprobación y control.	Se encarga de mantener la presión y el nivel de fluido en alcances de trabajo satisfactorios, así como de dar indicaciones y alertas y cerrar el equipo en caso de decepción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de nivel</li> <li>• Control de presión</li> <li>• Medidor de presión</li> <li>• Mirilla de nivel</li> <li>• Válvula de alivio de presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecturas erróneas de control de nivel</li> <li>• Lecturas erróneas de control de presión.</li> <li>• Lecturas erróneas de control de presión.</li> <li>• Lecturas erróneas de la mirilla</li> </ul>
Conjunto de suministro de agua	Es el encargado de reponer el agua que se ha evaporado.	El responsable de la recarga de agua ha desaparecido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubería de alimentación</li> <li>• Válvula de retención</li> <li>• Cavitación de la bomba</li> <li>• El sifón no se inicia</li> <li>• Bomba no arranca.</li> <li>• Tuberías de alimentación obstruidas</li> </ul>
Conjunto de encendido controlado.	Se encarga de iniciar, mantener y suspender la respuesta de encendido de forma controlada y segura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformador de arranque</li> <li>• Terminales de ignición</li> <li>• Caño de pulverización.</li> <li>• Ventilador</li> <li>• Bomba de combustible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustión incompleta</li> <li>• No hay ignición</li> <li>• Derrame de combustible</li> </ul>

<b>Sistemas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Componentes</b>	<b>Posibles fallas</b>
Sistema de alojamiento de agua y de vapor.	Son los espacios físicos donde se almacena el agua que se va a evaporar y el vapor producido. En las calderas pirotubulares, estas dos secciones hacen parte del mismo recipiente cilíndrico a presión, delimitadas únicamente por el nivel de líquido al interior de este.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coraza</li> <li>• Espejo posterior</li> <li>• Espejo delantero</li> <li>• Aislamiento térmico</li> <li>• Chapa protectora</li> <li>• Válvula de suministro</li> <li>• Agujeros de inspección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión</li> <li>• Fracturas</li> <li>• Deformación del tanque</li> </ul>
Chimenea	Es el conducto a través del cual los gases de la combustión son despejados al ambiente, después de haber transportado su sustancia calórica al agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuvo chimenea</li> <li>• Brida de acople</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstrucción</li> <li>• Flujo de gases inadecuado</li> </ul>

### Cronograma de mantenimiento

**Tabla 15. Cronograma**

<b>Componente</b>	<b>Falla</b>	<b>Inspección</b>	<b>Frecuencia</b>
Hogar de combustión	Pérdida de intensidad en transferencia de calor	Buscar visualmente hollín dentro del equipo	2 meses
	Desfiguraciones o deformaciones térmicas		
	Roturas	Buscar visualmente el nivel de erosión del material	8 meses
	Bloqueo del flujo de gas de ventilación	Buscar visualmente incrustaciones	8 meses
Cámara de gases	Pérdida de intensidad en transferencia de calor	Buscar visualmente hollín dentro del equipo	2 meses
	Deformaciones		
	Roturas	Buscar visualmente del nivel de erosión del material	8 meses
	Bloqueo de la corriente de humo	Buscar visualmente incrustaciones	8 meses
Control de nivel	Nivel de agua irregular	Lavado físico	6 meses
	Presencia de vapor en el nivel	Buscar visualmente del algún error de operación o daño visible	6 meses
		Prueba eléctrica de elementos que dependan de energía eléctrica.	6 meses
presostatos.	Fuga de vapor	Inspección visual del diafragma	1 año
	No entra en falla el equipo debido a un cambio en presión	Prueba eléctrica de contactos mecánicos	1 año
Manómetro	Lectura incorrecta	Calibración/reemplazo	1 año
Mirilla de nivel	Lectura incorrecta	Lavado, ajuste eventual reemplazo	2 años
Válvula de seguridad	No se abre en la presión de ajustada previamente. Se dispara por debajo de la presión ajustada previamente	Ajuste manual, para evitar atascamientos/ posible reemplazo.	1 año
		Pruebas de apertura	1 año
Bomba de agua	Presión y caudal de agua insuficiente o inexistente de agua		1 año
	Vibraciones		1 año
	No arranca		Todos los días
Trasformador de ignición	No hay ignición	Reemplazo del trasformador	Después de la falla
Electrodos de chispa	Mala combustión	Inspección visual del estado del elemento aislante	6 meses
	Variación constante de combustión		
	Nula presencia de combustión	Revisar distancias entre electrodos	6 meses
Boquilla de pulverización	Mala combustión	Limpiar el filtro de la boquilla	2 meses
	Variación constante de combustión		
	Nula presencia de combustión		
Bomba de combustible	Combustión deficiente	Lavado mecánico	6 meses
	Nula presencia de combustión		
Tuvo chimenea	Combustión deficiente. No hay combustión	Limpieza e inspección	6 meses

## Comparación de costos entre crear el producto o importarlo terminado

**Tabla 16.** Cálculo de inversión inicial para construir una caldera

Ítem	Inversión colones	Inversión en dólares americanos
Material para las carcasas	₡ 600,000.00	\$ 1,008.40
Tapas anterior y posterior	₡ 800,000.00	\$ 1,344.54
Tortugas	₡ 600,000.00	\$ 1,008.40
Mano de obra	₡ 620,000.00	\$ 201.68
Tubos de caldera	₡ 1,300,000.00	\$ 2,184.87
Quemador	₡ 2,000,000.00	\$ 3,361.34
Espejos	₡ 850,000.00	\$ 1,428.57
Riostras	₡ 100,000.00	\$ 168.07
Controles de nivel	₡ 450,000.00	\$ 756.30
Válvulas de seguridad	₡ 120,000.00	\$ 201.68
Manómetros	₡ 60,000.00	\$ 100.84
Chimenea	₡ 900,000.00	\$ 1,512.61
Espejos	₡ 1,200,000.00	\$ 2,016.81
<b>Gastos de importación y transporte</b>	<b>₡3,500,000.00</b>	<b>\$ 5,882.35</b>
<b>Total</b>	<b>₡ 13,100,000.00</b>	<b>\$ 22,016.47</b>

*Nota: para el cálculo en dólares americanos se usó el tipo de cambio de 595 colones vigente en diciembre del 2022 según datos del Banco Central de Costa Rica (BCCR, 2022).*

Como lo muestra la tabla 16, la inversión inicial para construir una caldera de forma local es de \$22,016.47, lo que contrasta con la adquisición de un equipo comprado en el extranjero que ya incluye sus componentes eléctricos, los cuales no fueron incluidos en este proyecto.

La inversión de exportación es de \$ 10,000.00 dólares americanos, que corresponden a 49,000,000.00 pesos colombianos, según Grupo Zingal (s.f.). Esta importación será desde Colombia, país con el cual Costa Rica tiene un tratado de libre comercio, lo que implica que sus costos de internación serán bajos; lo cual significa que, para hacer viable este proyecto, se deberá mejorar los costos de producción e incluir el sistema eléctrico de la caldera. Por tal motivo, hasta la elaboración de este documento, financieramente es más viable la importación directa del equipo desde Colombia que la fabricación local de este en Costa Rica.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Se estableció como parámetro principal, que este diseño de caldera es de tipo exploratorio, ya que, para hacer análisis de eficiencia y funcionamientos prácticos de los cálculos desarrollados anteriormente, se requiere de inversión económica para desarrollar un prototipo de forma local que cumple los estándares descritos en este documento y, de esta forma, ser pragmático en el desarrollo de las hipótesis relacionadas con la eficiencia del equipo.
- El desarrollo de equipos de generación de vapor en Costa Rica está en una etapa muy temprana, lo cual limita el desarrollo industrial de este tipo de diseños a nivel nacional.
- La presión máxima del equipo será de 150 psi, pero su operación día a día será alrededor de los 100 psi, aunque los materiales de diseño son capaces de soportar presiones aún mayores.
- Se estableció el plan de mantenimiento presentado en el documento anterior, el cual expresa las rutinas mínimas a realizarse durante la operación de la caldera. Esto considerando que se construya bajo los lineamientos descritos dentro de este documento; si esto llegase a variar, el plan de mantenimiento tendrá que ser evaluado nuevamente.
- Se estableció un sistema de control del nivel de flujo de agua y de la presión de encendido y apagado; estaba destinado a encender y apagar el quemador y la bomba de alimentación en función de las circunstancias dentro de la caldera. Este conjunto tiene dos métodos de actividad: uno para las tareas de apoyo, por ejemplo, la limpieza y la evaluación del quemador, y el otro para la actividad típica de operación diaria del equipo.
- Se determinó que el libro ASME es la piedra angular para el desarrollo de ingeniería y elemento de presión, el cual se recomienda sea acatado por las autoridades respectivas en Costa Rica, para implementarlo dentro de un marco legal para la fabricación de estos recipientes a presión dentro del país.

## REFERENCIAS

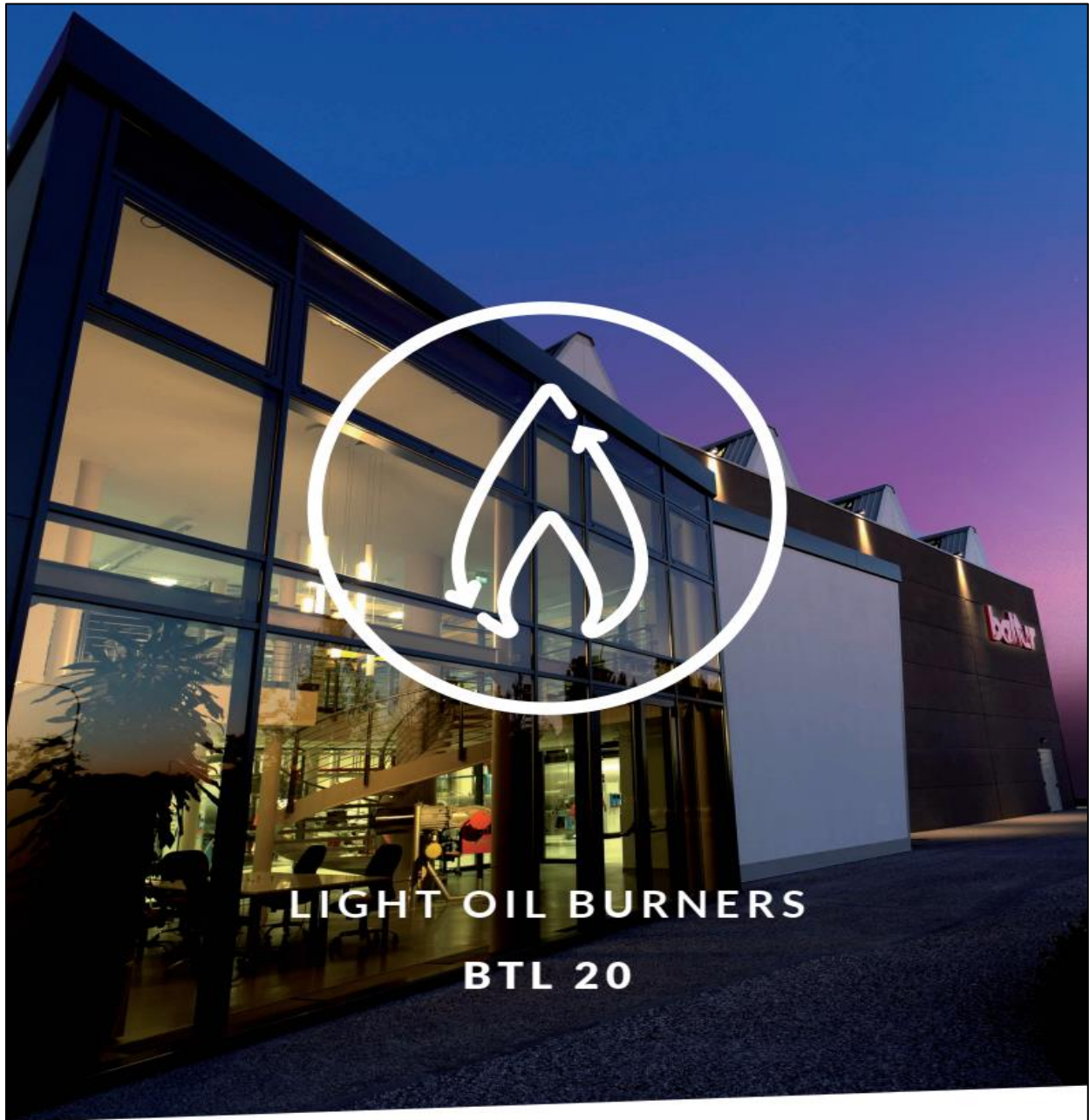
- Acuña, D. (2020). *Estudio de viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica* [Trabajo de grado, Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica]. Repositorio institucional.
- American Society of Mechanical Engineers. (2013). *Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión*. ASME.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1943). *Ley 2: Código de Trabajo*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231](http://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231)
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1978). *Ley 6227: Ley General de la Administración Pública*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231](http://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231)
- Asamblea Nacional Constituyente de Costa Rica. (1949). *Constitución Política de Costa Rica*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[https://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871](https://www.pgrweb.go.cr/scij/123rtículo/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871)
- Baltur. (s.f.). *BTL 20 P*. Recuperado el 15 de octubre de 2022 de [http://www.baltur.com/ww/es/productos/quemadores/quemadores\\_de\\_gas%C3%B3leo/btl\\_20\\_p\\_60hz](http://www.baltur.com/ww/es/productos/quemadores/quemadores_de_gas%C3%B3leo/btl_20_p_60hz)
- Banco Central de Costa Rica. (2022). *Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América*. Recuperado el 9 de diciembre de 2022 de <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
- Burbano, S. (2014). *Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Colombia]. Repositorio institucional.  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/719>

- Cansaya, N. y Huallata, P. (2015). *Diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 M.S.N.* [tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/436>
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor*. McGraw-Hill Education.
- ClimaStar. (7 de enero de 2019). *Descripción de Calderas y Generadores de vapor*. Recuperado el 15 de octubre de 2022 de <https://www.climastar.com.ar/124rticulos124n-de-calderas-y-generadores-de-vapor/>
- Grupo Zingal. (s.f.). *L25 – CALDERA PARA 10 BHP*. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de <https://www.grupozingal.co/producto/125-caldera-para-10-bhp/>
- Hidalgo, F. (2020). *Rediseño de la red de vapor de la Fábrica Nacional de Licores* [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica]. Repositorio institucional. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11479>
- Honeywell. (s.f.). *PressureTrol® Pressure monitoring on/off controllers L404F, T, V*. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de <https://process.honeywell.com/us/en/products/thermal-solutions/fuel-and-air-delivery/pressure-switches-and-gauges/pressuretrol-pressure-monitoring-on-off-controllers-l404f-t-v>
- Lamar, A. (2018). *Rediseño del sistema de vapor del hotel Wyndham San José-Herradura* [Trabajo de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica]. Repositorio institucional.
- Mena, F. y Silva, L. (2016). *Diseño termo-hidráulico de una caldera para recuperar la energía de los gases de escape de una turbina de gas* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador]. Repositorio institucional. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31536>
- Quesada, B. (2018). *Diseño del sistema electromecánico de condominios La Loma en Sabanilla* [Trabajo de grado, Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica]. Repositorio institucional.

- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (1998). *Decreto 26789: Reglamento de Calderas*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/125rticulo/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=30463](http://www.pgrweb.go.cr/scij/125rticulo/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=30463)
- Punina, D. y Arcos, J. (2014). *Diseño, construcción e instalación de un generador de vapor para el Laboratorio de Transferencia de Calor* [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Ecuador]. Repositorio institucional. <http://dspace.espocho.edu.ec/handle/123456789/3695>
- Rojas, G. (2005). *Diseño de un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de combustión en una caldera industrial vapor* [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica]. Repositorio institucional. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/189>
- Sevilla, L. (15 de setiembre de 2004). *Orígenes históricos del empleo tecnológico del vapor*. Inter Empresas. Recuperado el 15 de octubre de 2022 de [https://www.interempresas.net/MetalMecanica/125rticulos/8468-Origenes-historicos-del-empleo-tecnologico-del-vapor-\(2\).html](https://www.interempresas.net/MetalMecanica/125rticulos/8468-Origenes-historicos-del-empleo-tecnologico-del-vapor-(2).html)
- Spirax Sarco. (s.f.). *Products*. Recuperado el 1 de octubre de 2022 de <https://www.spiraxsarco.com/global/en-US/products>
- Suasnabar, M. (2014). *Diseño de caldera domestica para quemar bosta* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú]. Repositorio institucional. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5455>
- Ureña, J. (2007). *Diseño de una planta generadora de electricidad a partir de vapor* [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica]. Repositorio institucional. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5720>
- Velásquez, H. (2000). *Principios básicos para el diseño de líneas de vapor* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20381>

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas del quemador de la caldera BLT 20P



kW **118 - 261**| SERIES **BTL**

CONFORM TO: E.M.C DIRECTIVE 2014/30/UE | L.V. DIRECTIVE 2014/35/UE | MACHINERY DIRECTIVE 2006/42/CE |  
COMMISSION REGULATION ErP 2013/811/UE AND ErP 2013/813/UE | REFERENCE STANDARD EN267.

**Light oil burner. Operation:**

Adjusting the combustion head.

Maintenance facilitated by the possibility of removing the combustion head without having to remove the burner from the boiler.

Sliding boiler coupling flange to adapt the blast-pipe to the various types of boilers.

Combustion air intake with butterfly valve. Air flow adjustment:

Fully closing air damper on shutdown to avoid loss of heat through the chimney.

Device made of sound-absorbing material to reduce fan noise.

Fuel supply circuit made of gear pump with pressure adjustment and shut-off valves.

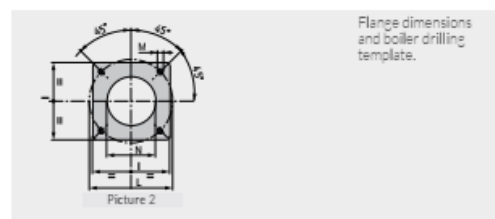
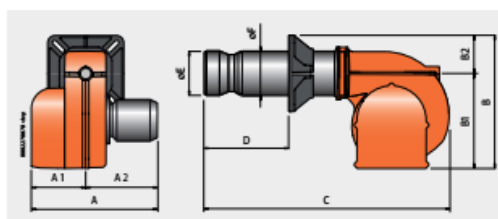
Flame detection by photoresistance.

Electric protection rating:

Sound-proof plastic protective cover.

	BTL 20	BTL 20 P
	single-stage	two-stage
Adjusting the combustion head.	•	•
Maintenance facilitated by the possibility of removing the combustion head without having to remove the burner from the boiler.	•	•
Sliding boiler coupling flange to adapt the blast-pipe to the various types of boilers.	•	•
Combustion air intake with butterfly valve. Air flow adjustment:	manual	electric servomotor
Fully closing air damper on shutdown to avoid loss of heat through the chimney.	•	•
Device made of sound-absorbing material to reduce fan noise.	•	•
Fuel supply circuit made of gear pump with pressure adjustment and shut-off valves.	•	•
Flame detection by photoresistance.	•	•
Electric protection rating:	IP40	IP40
Sound-proof plastic protective cover.	•	•

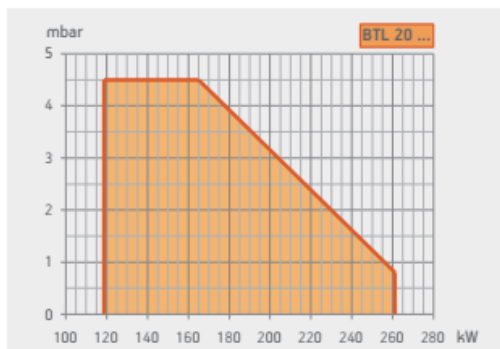
LIGHT OIL



Model	A mm	A1 mm	A2 mm	B mm	B1 mm	B2 mm	C mm	D mm	E mm	F mm	I mm	L mm	M mm	N mm	Pic.
BTL 20	303	158	145	368	275	93	645	100 + 250	114	114	185	170 + 210	M10	120	2
BTL 20 P	303	158	145	368	275	93	645	100 + 250	114	114	185	170 + 210	M10	120	2

kW **118 - 261**SERIES **BTL**

CE



Model	Size of packaging			Weight kg
	L	P	H	
BTL 20	780	370	410	18
BTL 20 P	780	370	410	18

Thermal output kW	Model	Part no.	Max visc. *E at 20°C	Electrical supply	Motor kW	Notes
Frequency 50 Hz						
118,6 ÷ 261,0	BTL 20	35630010	1,5	1N AC 50Hz 230V	0,18	1) 3)
118,6 ÷ 261,0	BTL 20 P	35640010	1,5	1N AC 50Hz 230V	0,18	1) 3)
Frequency 60 Hz						
118,6 ÷ 261,0	BTL 20	35635410	1,5	1N AC 60Hz 220V	0,25	1) 3)
118,6 ÷ 261,0	BTL 20 P	35645410	1,5	1N AC 60Hz 220V	0,25	1) 3)

**OPTIONALS****DESCRIPTION**

500 mm long combustion head  
Biodiesel operation (5)

**LIGHT OIL BURNER ACCESSORIES**

Line filter, flex hoses, nozzle, boiler coupling kit, plug for wiring.

**NOTES**

- 1 Equipped with air closure device.
- 3 Soundproof lid on burner air intake.
- 5 Biodiesel according to european norm EN14213-FAME.  
Net calorific value of light oil: Hi = 42,70 MJ/kg = 10200 kcal/kg.

LIGHT OIL



**Baltur S.p.A.**  
Via Ferrarese, 10 - 44042 Cento (FE) - Italy  
Tel. +39 051 684.37.11  
info@baltur.it - www.baltur.com

Anexo 2. Especificaciones técnicas del controlador de nivel de agua de la caldera 157s



Boiler Controls

McDonnell & Miller

Low Water Cut-Offs – Mechanical For Steam Boilers

Series 157S



Low Water Cut-Off/Pump Controllers

- For residential, commercial and industrial low or high pressure boiler applications
- For boilers of any steaming capacity
- Monel bellows provides corrosion resistance
- Float chamber with integral water column provided
- Snap action for high temperature service
  - 1 Single pole, single throw switch for pump control
  - 1 Single pole, double throw switch for low water cut-off and alarm actuation
- Optional features
  - Manual reset
  - Integral conductance probes for additional levels and greater operating differential-Model 157S-RBP-MD
  - 1" or 1¼" NPT equalizing tapplings
  - ½" or ¾" NPT tapplings for gauge glass/tri-cock installations
  - BSPT threads
- Maximum pressure 150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)
- For new electronic 150E Series see page 37

Model 157S-MD

Maximum differential operation

- Prevents nuisance burner shutdowns in low pressure applications
- Maximum operating pressure 50 psi (3.5 kg/cm<sup>2</sup>)
- For additional information see page 48

Electrical Ratings

Voltage	Cut-off and Pump Circuits Rating (Amperes)		Pilot Duty
	Full Load	Locked Rotor	
120 VAC	7.4	44.4	345 VA at 120 or 240 VAC
240 VAC	3.7	22.2	

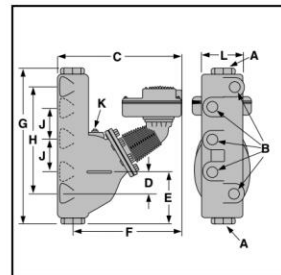
Alarm Circuit Rating (Amperes)	
Voltage	Amps
120 VAC	1
240 VAC	1/2

Dimensions, in. (mm)

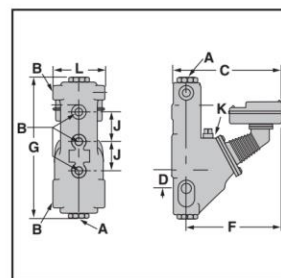
Model	A NPT	B NPT	C	D	E	F	G	H	J	K NPT	L
157S	1	½	13⅜ (339)	2⅝ (59)	4⅛ (125)	11¼ (298)	16 (406)	11½ (292)	3½ (89)	¾	5⅞ (149)
157S-A	1¼	¾	13⅜ (339)	2⅝ (59)	4⅛ (125)	11¼ (298)	16 (406)	11½ (292)	3½ (89)	¾	5⅞ (149)
157S-R	1	½	13⅜ (339)	2¼ (57)	5⅞ (149)	11¼ (298)	17 (432)	11½ (292)	3½ (89)	¾	6¼ (159)
157S-RL	1¼	½	13⅜ (345)	3½ (89)	5⅞ (149)	11¼ (298)	17 (432)	12¼ (324)	3½ (89)	¾	6¼ (159)



Series 157S



Model 157S-R



Boiler Controls

Ordering Information

Model Number	Part Number	Description	Weight lbs. (kg)
157S	173502	150S low water cut-off w/water column	39.7 (18.0)
157S-MD	173603	157S w/maximum differential	39.7 (18.0)
157S-A	173702	157S w/alternate tapplings	39.5 (17.9)
157S-A-M	173802	157S-A w/manual reset	39.5 (17.9)
157S-M	175402	157S w/manual reset	39.7 (18.0)
157S-M-MD	175412	157S-M w/maximum differential	39.7 (18.0)
157S-R	176220	157S w/alternate tapplings	42.0 (19.0)
157S-R-M	177306	157S-R w/manual reset	42.0 (19.0)
157S-RBP-MD	176503	157S w/2 integral conductance probes	51.0 (23.1)
157S-RL	176902	157S w/alternate tapplings	42.0 (19.0)
157S-RL-M	177006	157S-RL w/manual reset	42.0 (19.0)

## Anexo 3. Especificaciones técnicas del controlador de alta presión Honeywell L404F1

**Honeywell**

# L404F,T,V PressureTrol® Controllers

### PRODUCT DATA



### FEATURES

- Models available in a series of control ranges, and pressure scales in kPa and psi.
- All models automatically reset and have an adjustable differential.
- Models have snap switch to open or close a circuit on a pressure rise.
- Case has a clear plastic cover so setpoints can be observed.
- 1/4 inch—18 NPT connection for pipe on diaphragm assembly.
- Ground screw terminal.

#### L404F:

- Controllers may be used with steam, air, or noncombustible gases, or fluids noncorrosive to the pressure sensing element.

#### L404T:

- High pressure limits, break a circuit on oil pressure rise above setpoint.

#### L404V:

- Low pressure limits, makes a circuit on oil pressure rise above setpoint.

### APPLICATION

L404F PressureTrol® Controllers provide operating control with automatic limit protection for pressure systems of up to 2070 kPa, or 300 psi.

L404T,V PressureTrol® Controllers are for use on oil burner systems for pressures up to 1035 kPa or 150 psi.

### Contents

Application .....	1
Features .....	1
Specifications .....	2
Ordering Information .....	2
Installation .....	4
Settings and Adjustments .....	6
Checkout .....	7



71-2429-06

## L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

## SPECIFICATIONS

## Model:

L404F,T,V PressureTrol® Controllers. See Table 1.

Table 1. Models with kPa—psi and Other Pressure Scales.

Model Number	Operating Ranges		Subtractive Differential <sup>a</sup>		Maximum Diaphragm pressure	
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
L404F1060	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1078	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1094	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 <sup>b</sup>
L404F1102	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1219 <sup>c</sup>	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1243 <sup>c</sup>	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1227 <sup>c</sup>	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1235 <sup>c</sup>	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 <sup>b</sup>
L404F1300 <sup>c</sup>	415 to 1240	60 to 180	40 fixed	6.0 Fixed	1550	225
L404F1326	0 to 100	0 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1334	0 to 350	0 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1342	35 to 1000	5 to 145	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1359	70 to 2000	10 to 290	140 to 345	20 to 50	2410	350 <sup>b</sup>
L404F1367	7 to 55	1 to 8	5 to 14	0.75 to 2	170	25
L404F1375 <sup>d</sup>	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1383 <sup>d</sup>	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1391 <sup>d</sup>	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 <sup>b</sup>
L404F1409 <sup>d</sup>	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1441	0.35 to 3.5 Kg/cm <sup>2</sup>	5 to 50 psi	0.4 to 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>	6 to 14 psi	6 Kg/cm <sup>2</sup>	85 psi
L404T1055	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404T1063	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404V1087 <sup>d</sup>	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404V1095 <sup>d</sup>	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85

<sup>a</sup> Nominal at midscale operating range.<sup>b</sup> Brass bellows instead of stainless steel diaphragm.<sup>c</sup> Models with 1/4-19 BSPT thread instead of 1/4-18 NPT thread.<sup>d</sup> Make-on-rise models with terminal B omitted for miswiring compliance.

## ORDERING INFORMATION

When purchasing replacement and modernization products from your TRADELINE® wholesaler or distributor, refer to the TRADELINE® Catalog or price sheets for complete ordering number.

If you have additional questions, need further information, or would like to comment on our products or services, please write or phone:

1. Your local Honeywell Automation and Control Products Sales Office (check white pages of your phone directory).
2. Honeywell Customer Care  
1885 Douglas Drive North  
Minneapolis, Minnesota 55422-4386

In Canada—Honeywell Limited/Honeywell Limitée, 35 Dynamic Drive, Toronto, Ontario M1V 4Z9.

International Sales and Service Offices in all principal cities of the world. Manufacturing in Australia, Canada, Finland, France, Germany, Japan, Mexico, Netherlands, Spain, Taiwan, United Kingdom, U.S.A.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

Table 2. Conversion Table.

Operating Range Conversions			Subtractive Differential Conversions		
kg/cm <sup>2</sup>	kPa	psi	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	psi
0.1 to 1.05	15 to 100	2 to 15	0.15 to 0.4	15 to 40	2 to 6
0.4 to 3.5	35 to 350	5 to 50	0.4 to 1.0	40 to 100	6 to 14
0.7 to 10.0	70 to 1035	10 to 150	0.7 to 1.6	70 to 150	10 to 22
1.5 to 20.0	140 to 2070	20 to 300	1.5 to 3.5	150 to 300	20 to 50

Table 3. Switch Ratings (Amperes).

Switch State	120 Vac	240 Vac
Full Load	8.0	5.1
Locked Rotor	48.0	30.6

**Pressure Sensing Element:** Stainless steel diaphragm (140 to 2070 kPa models) has brass bellows.

**Maximum Ambient Temperature:** 66°C (150°F). Also, refer to note under Mounting.

**Adjustment Means:** Screws on top of control case. Scales are marked in psi or kPa.

**Mounting Means:** 1/4 inch-18 NPT connection on diaphragm assembly; or surface mounts using holes in back of case.

**Dimensions:** See Fig. 1.

**Switching Action:** Snap switch breaks R-B (closes R-W) on pressure rise. Make-on-rise devices omit terminal B.

**Grounding Means:** Ground screw terminal marked with a circled ground symbol.

**Accessories:**  
 50024585-001 Brass Steam Trap. (Please refer to the applicable Equipment/Application Standards for compliance.)  
 14026 Steel Steam Trap. (Please refer to the applicable Equipment/Application Standards for compliance.)  
 118023 Steel Steam Trap for BSPT Models.  
 33312B Knurled Knob—fits on top of adjusting screws.  
 4074BWJ Range Stop—range stop screw, Part No. 107194, and wrench, Part No. 23466, to limit setpoint range.

**Approvals:**  
 Underwriters Laboratories Inc. Listed: file no. MP466, vol. 10, guide no. MBPR.  
 Canadian Standard Association certified: file no. LR1620, guide no. 400E-0.

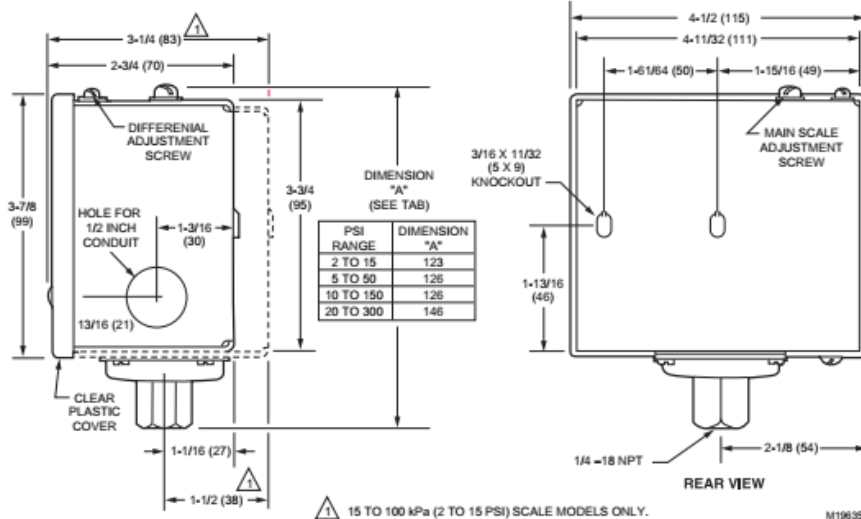


Fig. 1. L404F,T,V approximate dimensions in inches (millimeters in parentheses).

L404F,T,V PRESSURETROL<sup>®</sup> CONTROLLERS**INSTALLATION****When Installing This Product...**

1. Read these instructions carefully. Failure to follow them could damage the product or cause a hazardous condition.
2. Check on the ratings given in the instructions and marked on the product to make sure the product is suitable for your application.
3. Installer must be a trained, experienced service technician.
4. After installation is complete, check out the product operation as provided in these instructions.

**IMPORTANT**

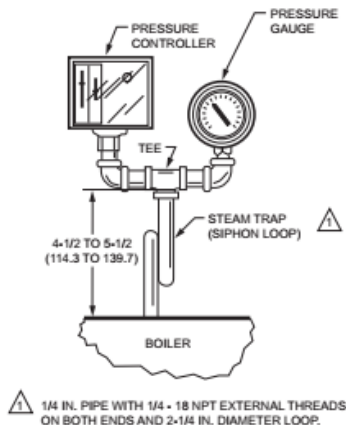
*When making pipe connections, use pipe dope sparingly to seal the joints; any excess dope may clog the small hole in the fitting and prevent the controller from operating properly.*

**Location and Mounting (L404F)**

Locate the L404F where the ambient temperature will not exceed 66°C (150°F). The L404F can be mounted near the pressure gauge, at a remote location, in a fitting provided by the boiler manufacturer, or in a special mounting on low water cutoffs. The L404F should always be mounted above the water line in steam boiler applications.

**NOTE:** For accurate operation, supplemental heat should be added to installations where temperatures fall below -29°C (-20°F).

A steam trap must be connected between the L404F and the boiler (see Fig. 2) to prevent boiler scale and corrosive vapors from attacking the elbows or diaphragm.



**Fig. 2. Steam trap mounting.**

**Pressure Gauge Mounting**

To mount beside a pressure gauge, remove the gauge, and install in its place the steam trap with a tee on top. Mount the PressureTrol<sup>®</sup> unit and pressure gauge on the side of the tee by means of nipples and elbows (see Fig. 2).

**Remote Mounting**

Excessive vibration at the boiler may affect the operation of the L404F. In these cases, the L404F should be remotely located, subject to the following:

1. All piping must be suitable and properly pitched to drain all condensation back to the boiler.
2. The remote mounting must be solid.
3. A steam trap must be used at one end of the piping.

**Boiler Mounting**

If it is not convenient to mount the L404F adjacent to the pressure gauge, install a steam trap at the location recommended by the boiler manufacturer, then screw the device directly to the steam trap.

**Location and Mounting (L404T,V)****Location**

**NOTE:** For most accurate operation, supplemental heat should be added to installations where the temperature falls below -20°F (-29°C). These controllers can be mounted at any location in the oil supply line, depending on the application. Typical locations are shown in Fig. 3. The low oil pressure controller should be located upstream from the safety shutoff valve(s). In a downstream location, there would be zero pressure when the burner is not running and the safety shutoff valve(s) is (are) closed. This could prevent startup or require manual reset every time the burner is started. The high oil pressure controller should be located as near to the burner as possible.

**Mounting**

Mount the oil pressure controller directly on the main pipe. Insert a tee in the pipe line, and connect a pipe nipple of appropriate size to the tee (see Fig. 4). Screw the hexagonal fitting (1/4-18 NPT internal thread) of the pressure controller to the pipe nipple. To avoid leaks and damage to the case, use a parallel jaw wrench on the hexagonal fitting close to the pipe nipple. Do not tighten the pressure controller by hand by holding the case.

Make all pipe connections in accordance with approved standards. Use only a small amount of pipe compound to seal the connection joints. Excess pipe compound may clog the orifice in the pipe fitting and prevent the controller from operating properly.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

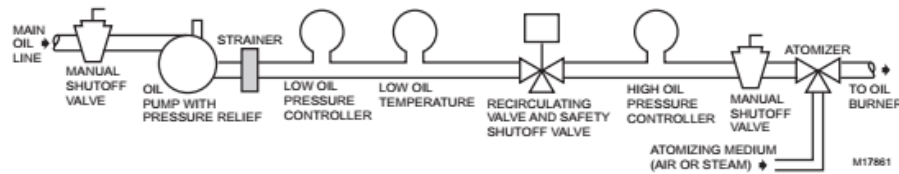


Fig. 3. Typical locations of pressure controllers in an oil burner system.

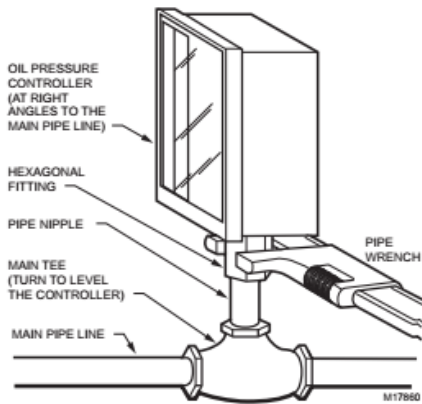


Fig. 4. Mounting an oil pressure controller directly on the main pipe.

**Using with Preheated Oil**

When used with preheated oil, a siphon loop must always be connected between the controller and the main pipe (see Fig. 5) to provide thermal buffering.

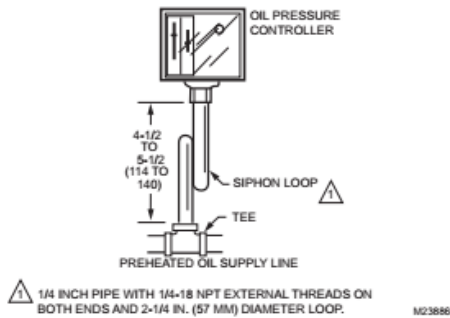


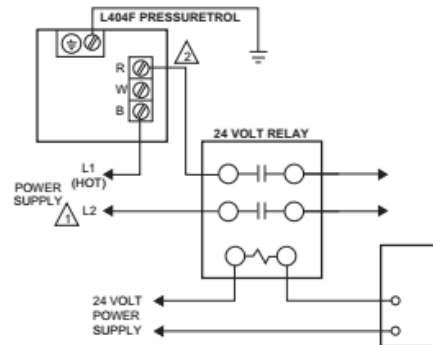
Fig. 5. Mounting of a siphon loop, with approximate dimensions in in. (mm).

**WIRING**

**WARNING**

**Electrical Shock Hazard.**  
Can cause severe injury, death or property damage. Disconnect the power supply before beginning wiring. More than one power supply disconnect may be required.

All wiring must comply with applicable codes and ordinances. All models have terminals (on the MicroSwitch® snap-acting switch) inside the cover and knockouts for conduit and cable. Refer to manufacturer installation and wiring instructions, if available, and to typical hookups shown in Fig. 6 to 10.



- ⚠ PROVIDE DISCONNECT MEANS AND OVERLOAD PROTECTION AS REQUIRED.
- ⚠ AS SHOWN, SWITCH OPENS ON PRESSURE RISE. REVERSE ACTING (MAKE ON PRESSURE RISE) UNITS ARE WIRED TO R-W TERMINALS AND TERMINAL B IS OMITTED.

Fig. 6. L404F in low voltage relay circuit.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

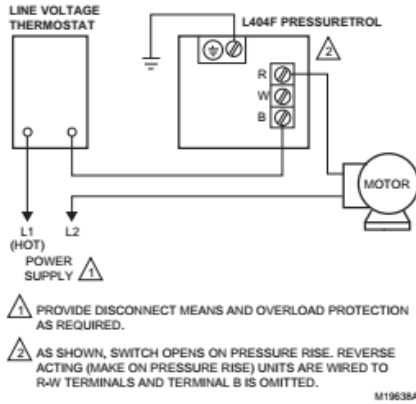


Fig. 7. L404F in a typical 2-wire control circuit.

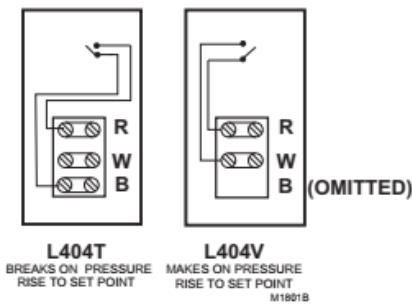


Fig. 8. L404T,V terminal blocks and internal schematics.

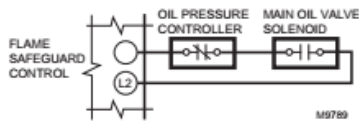


Fig. 9. Hookup of an oil pressure controller used on a single burner system with an integral oil pump.

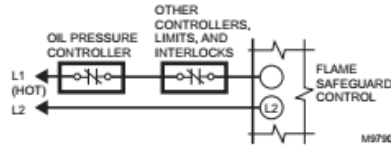


Fig. 10. Hookup of an oil pressure controller used on a single burner or multiburner system with an external oil pump.

## SETTINGS AND ADJUSTMENTS

When the pressure at the control rises above the L404 setpoint, a circuit opens between the R-B terminals. During a pressure fall, R-B will close at the setpoint pressure minus the switch differential.

For example, if a controller is set to differential B (see Fig.11) with a controller setpoint of A, R-B will open when the pressure rises to A. Then during a pressure fall, the R-B terminals will close when the pressure drops to C (A minus differential B).

For make on rise applications, the switch is wired to R-W terminals. The R-W circuit will close on pressure rise to the setpoint. R-W will open again on a pressure drop past the switch differential.

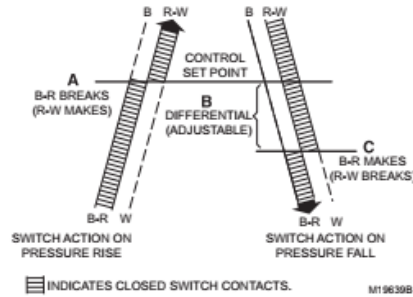


Fig. 11. Operation of switch on pressure rise and fall.

### Setpoint Adjustment

Turn the pressure adjusting screw on the top of the controller (Fig. 12) to adjust the setpoint. Turn the differential adjusting screw to the desired pressure difference between switch opening and switch closing.

NOTE: When the main scale setting is at the lower end of the operating range, the differential range will be less than the differential setting by approximately 20 percent.

## L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

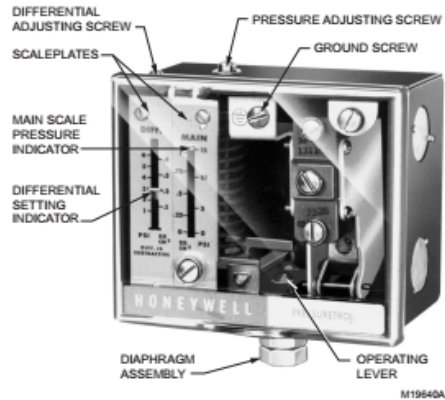


Fig. 12. view of L404 PressureTrol® Controller.

### Scaleplate Adjustment

The L404F,T,V has been carefully calibrated during manufacture and should not require recalibration.

However, if recalibration is necessary, remove the cover and loosen the setscrews which hold the scaleplate. Adjust the plate up or down, as required, to bring the device into calibration. Tighten the setscrews securely and replace the cover.

### CHECKOUT

After the controller has been installed, wired and adjusted, it should be tested with the system in operation. First, allow the system to stabilize. Then, observe the operation of the controller while raising and lowering its setpoint. Pressure should increase when the setpoint is raised and decrease when the setpoint is lowered.

Also, check the make and break points of the controller. If they do not agree with a separate, accurately calibrated pressure gauge, a slight adjustment of the scaleplate(s) may be necessary.

Use accurate pressure testing equipment when checking out the controller. Do not rely on inexpensive gauges. The controllers are carefully calibrated at the factory.

Anexo 4. Especificaciones técnicas del controlador de bajo nivel de agua de la caldera  
McDonnell 193

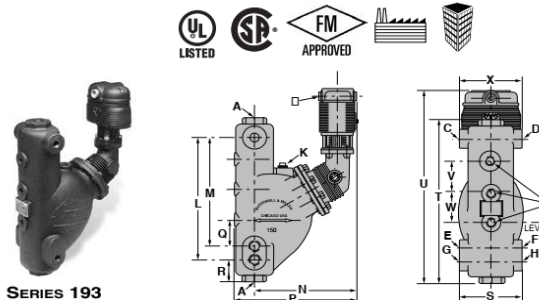
# Boiler Controls



## Low Water Cut-Offs – Mechanical Combination Low Water Cut-Off/Pump Controllers for Steam Boilers

### Series 193 Low Water Cut-Off/Pump Controllers

- For commercial and industrial low or high pressure steam boilers
- Maintains consistent water level regardless of pressure
- Water column with integral tapings for gauge glass and tri-cock installations
- For boilers of any steaming capacity
- No. 5 Switch included
- Magnetic repulsion eliminates need for bellows
- Optional features
  - Manual reset
- 7B switch (135ohm proportional control signal) to maintain constant boiler water level
- 1" NPT connections
- Maximum pressure 150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)



### Ordering Information

Model Number	Part Number	Description	Weight lbs. (kg)
193	163400	Combination low water cut-off/pump controller w/No. 5 switch	52.5 (23.8)
193-A	163500	193 w/alternate tapings	52.5 (23.8)
193-A-7B	164500	193-A w/No. 7B switch	52.5 (23.8)
193-A-7BM	164600	193-A-7B w/manual reset	52.5 (23.8)
193-A-M	164200	193-A w/manual reset	52.5 (23.8)
193-B	163600	193 w/alternate tapings	52.5 (23.8)
193-B-M	164300	193-B w/manual reset	52.5 (23.8)
193-B-7B	164700	193-B w/No. 7B switch	52.5 (23.8)
193-D	163900	193 w/alternate tapings	52.5 (23.8)
193-D-7B	163903	193-D w/No. 7B switch	52.5 (23.8)
193-M	164100	193 w/manual reset	52.5 (23.8)
193-7B	164400	193 w/No. 7B switch	52.5 (23.8)
193-7BM	164525	193-7B w/manual reset	52.5 (23.8)
193-D-M	163902	193-D w/manual reset	52.5 (23.8)
193-G	164760	193 w/alternate tapings	52.5 (23.8)

### Electrical Ratings

345 VA at 120 or 240 VAC

### Dimensions, in. (mm)

Model	A NPT	B NPT	C NPT	D NPT	E NPT	F NPT	G NPT	H NPT	J NPT	K NPT
193	1	1/2	1/2	1/2	–	–	1/2	1/2	1/2	3/4
193-A	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	–	–	1/2	3/4
193-B	1 1/4	3/4	3/4	3/4	–	–	3/4	3/4	1/2	3/4
193-D	1	1/2	1	1/2	1	1/2	–	–	1/2	3/4
193-G	1	1/2	–	1/2	1	1/2	–	–	1/2	3/4

Model	L	M	N	P	Q	R
193	12 3/4 (324)	–	10 13/16 (274)	13 (330)	–	2 7/8 (73)
193-A	–	11 1/2 (292)	10 13/16 (274)	13 (330)	2 1/4 (57)	–
193-B	12 3/4 (324)	–	10 13/16 (274)	13 (330)	–	2 7/8 (73)
193-D	–	11 1/2 (292)	10 13/16 (274)	13 (330)	2 1/4 (57)	–
193-G	–	11 1/2 (292)	10 13/16 (274)	13 (330)	2 1/4 (57)	–

Model	S	T	U	V	W	X
193	6 3/4 (171.4)	17 1/2 (445)	20 1/2 (521)	3 1/2 (89)	3 1/2 (89)	6 (152)
193-A	6 3/4 (171.4)	17 1/2 (445)	20 1/2 (521)	3 1/2 (89)	3 1/2 (89)	6 (152)
193-B	6 3/4 (171.4)	17 1/2 (445)	20 1/2 (521)	3 1/2 (89)	3 1/2 (89)	6 (152)
193-D	6 3/4 (171.4)	17 1/2 (445)	20 1/2 (521)	3 1/2 (89)	3 1/2 (89)	6 (152)
193-G	6 3/4 (171.4)	17 1/2 (445)	20 1/2 (521)	3 1/2 (89)	3 1/2 (89)	6 (152)

Boiler Controls