

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA EVALUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES  
LÍQUIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR EN LA CALDERA DEL  
LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR II

JAIME MALDONADO RODRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ D.C  
2018

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA EVALUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES  
LÍQUIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR EN LA CALDERA DEL  
LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR II

JAIME MALDONADO RODRIGUEZ

Proyecto de investigación para optar el título de  
INGENIERO MECANICO

Director  
LIBARDO MENDOZA GENEY  
Dr. Ingeniero Mecánico

Codirector  
JUAN FELIPE GIRALDO AVILA  
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ D.C  
2018

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrector Académico y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano general Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Investigaciones

Ing. Armando Fernández

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 COMBUSTION	19
1.1.1 Combustión Estequiometria.	19
1.1.2 Combustión Completa.	19
1.1.3 Combustión Incompleta.	20
1.1.4 Exceso de aire.	20
1.1.5 Gases de combustión.	20
1.2 COMBUSTIBLE	20
1.2.1 Combustibles líquidos.	21
1.2.2 Contenido energético.	21
1.3 EMISIONES	21
1.3.1 Óxidos de Nitrógeno.	22
1.3.2 Dióxido de Azufre.	24
1.3.3 Monóxido de Carbono.	24
1.3.4 Materia Particulada.	25
1.4 CALDERAS	25
1.4.1 Calderas Piro tubulares.	26
1.4.2 Calderas Acuotubulares.	27
1.4.3 Condensación vs no condensación.	27
1.5 SISTEMAS DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE	29
1.5.1 Quemadores.	29
1.6 EFICIENCIA DE LA CALDERA	30
1.6.1 Perdidas en los sistemas de la caldera.	30
1.6.2 Pérdidas por columna de gas de combustión.	30
1.6.3 Pérdidas por combustión incompleta.	30
1.6.4 Pérdidas por convección y radiación.	30
1.7 DEFINICIONES DE EFICIENCIA	31
1.7.1 Eficiencia de la combustión.	31
1.7.2 Eficiencia térmica.	31
1.7.3 Eficiencia Combustible – Vapor producido.	31
1.8 MEDICION DE LA EFICIENCIA	32
1.8.1 Método de entrada y salida.	32
1.8.2 Método de Pérdida de calor.	32

2. SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO	33
2.1 CONTROL DE COMBUSTION	33
2.1.1 Esquemas de control.	33
2.1.2 Control de aire.	33
2.1.3 Control de combustible.	35
2.2 OTRAS MANERAS DE MEJORAR LA EFICIENCIA	36
2.2.1 Recuperación de calor.	38
2.2.2 Control de purga.	38
2.3 TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN	39
2.3.1 Supervisión de combustible.	39
2.3.1.1 Espectro infrarrojo cercano (NIR).	39
2.3.1.2 Microondas.	39
2.3.2 Supervisión de combustión.	40
2.3.2.1 Sensores ultrasónicos..	40
2.3.2.2 Monitoreo por cámara y video.	41
2.3.2.3 Cámara infrarroja.	41
2.3.3 Supervisión de los gases de combustión.	42
2.3.3.1 Sensor lambda.	42
2.3.3.2 Espectroscopia.	42
3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE VAPOR DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR II	43
3.1 METODOLOGÍA	43
3.2 SISTEMA DE LA CALDERA	43
3.2.1 Descripción del sistema.	43
4. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA LA EVALUACION DE BIOCOMBUSTIBLES EN LA CALDERA	50
4.1 PARAMETROS DE DISEÑO	50
4.1.1 Balances de masa y energía.	54
4.1.2 Definición de parámetros de eficiencias y desempeño.	57
4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS	58
4.3 BASE DE CÁLCULO – MICROSOFT EXCEL	63
4.3.1 Sistema quemador.	64
4.3.2 Sistema caldera.	64
5. CONCLUSIONES	70
6. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	75

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Emisiones producidas por la reacción de combustión y sus efectos.	22
<b>Tabla 2.</b> Óxidos de nitrógeno.	23
<b>Tabla 3.</b> Exceso de aire optimo según el tipo de combustible utilizado.	35
<b>Tabla 4.</b> Ficha técnica caldera piro tubular de funcionamiento automatico.	48
<b>Tabla 5.</b> Parámetros operacionales medidor de caudal tipo turbina.	61
<b>Tabla 6.</b> Parámetros operacionales sensus 120C.	61



## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Grafica 1.</b> Efecto de la temperatura del agua en la eficiencia de calderas de condensado.	28
<b>Grafica 2.</b> Curva hipotética característica para una caldera industrial.	34

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Configuración caldera piro tubular HRT.	26
<b>Figura 2.</b> Configuración caldera acuotubular.	27
<b>Figura 3.</b> Equipo auxiliar quemador industrial.	37
<b>Figura 4.</b> Sensores ultrasónicos.	40
<b>Figura 5.</b> Diagrama del proceso laboratorio de transferencia de calor II.	44
<b>Figura 6.</b> Caldera piro tubular de funcionamiento automático.	45
<b>Figura 7.</b> Quemador FC Bantam series 134/234.	46
<b>Figura 8.</b> Bomba y controlador de nivel McDonnell 150s	47
<b>Figura 9.</b> Suministro según tipo de fluido.	50
<b>Figura 10.</b> Simplificación diagrama de proceso.	51
<b>Figura 11.</b> Balance de masa y energía quemador de tiro forzado.	52
<b>Figura 12.</b> Propuesta caudal quemador.	53
<b>Figura 13.</b> Balance de masa y energía caldera.	55
<b>Figura 14.</b> Variables influyentes para el desarrollo de los balances de masa y energía.	57
<b>Figura 15.</b> Parámetros operacionales analizador de gas de combustión E6000.	59
<b>Figura 16.</b> Parámetros operacionales analizador de gas de combustión	60
<b>Figura 17.</b> Medidor de nivel bomba y	63
<b>Figura 18.</b> Hoja de cálculo Quemador.	66
<b>Figura 19.</b> Hoja de cálculo Caldera.	66
<b>Figura 20.</b> Hoja de cálculo HAS.	66
<b>Figura 21.</b> Hoja de cálculo HVS.	67
<b>Figura 22.</b> Hoja de cálculo CCom.	67
<b>Figura 23.</b> Desarrollo ejemplo quemador.	68
<b>Figura 24.</b> Desarrollo ejemplo caldera.	69

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Balance de masa y energía quemador.	52
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación de eficiencia quemador y caldera.	53
<b>Ecuación 3.</b> Diferencial de altura tubo de pitot.	54
<b>Ecuación 4.</b> Diferencial de presión ecuación de bernoulli.	54
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación general de continuidad.	55
<b>Ecuación 6.</b> Balance de masa y energía caldera.	55
<b>Ecuación 7.</b> Pérdidas globales de calor caldera.	56
<b>Ecuación 8.</b> Entalpía del gas de combustión.	56

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Controlador de presión Honeywell L404 - L604.	76
<b>Anexo B.</b> Relé de protección control quemador.	78
<b>Anexo C.</b> Quemador FC Bantam Series.	80
<b>Anexo D.</b> Bomba y controlador de nivel McDonnell & Miller 150s.	87
<b>Anexo E.</b> Válvula de seguridad TECVAL - VSRG.	91
<b>Anexo F.</b> Cotización analizador de gases IBRID-MX6.	94
<b>Anexo G.</b> Cotización medidor de caudal tipo turbina.	95
<b>Anexo H.</b> Cotización termopares gas de combustión tipo K.	96
<b>Anexo I.</b> Cotización analizador gas de combustión E6000.	97

## LISTA DE ACRONIMOS

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers

ASME - American Society of Mechanical Engineers

CIPEC - Canadian Industry Program for Energy Conservation

CO - Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

H - Hidrogeno

H<sub>2</sub>O - Agua

HVAC - Heating Ventilation and Air Conditioning

NIR - Near Infrared

NO<sub>2</sub> - Dióxido de Nitrógeno

NO<sub>x</sub> - Óxidos de Nitrógeno

O<sub>2</sub> - Oxigeno

PM - Materia particulada

SO<sub>2</sub> - Dióxido de Azufre

## GLOSARIO

**ENERGÍA:** es una cantidad escalar que no puede ser observada de manera directa pero puede ser registrada y evaluada por mediciones indirectas.

**ENTALPIA:** es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

**PODER CALORÍFICO:** cantidad de calor liberado cuando se quema por completo un mol de combustible y sus productos se enfrían a la temperatura ambiente.

**ENTALPIA DE COMBUSTIÓN:** cantidad de calor liberado durante un proceso de combustión de flujo estacionario cuando 1 kmol de combustible se quema por completo a una temperatura y presión especificadas.

**FUEL OIL N°2:** combustible destilado más pesado que el grado. Se utiliza en quemadores de atomización, quemadores domésticos y equipos industriales de capacidad media. El máximo contenido de azufre permitido en el combustible es de 0,5%.

**PRESIÓN DINÁMICA:** también conocida como presión de estancamiento es la presión que se obtiene en contra del flujo del fluido.

**CALOR ESPECÍFICO:** se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.

**PRESIÓN ESTÁTICA:** es la presión medida en la pared del tubo que conduce un fluido.

**PRUEBA HIDROSTÁTICA:** prueba que se realiza en equipos como calderas para certificar la hermeticidad.

## RESUMEN

Se dio inicio al proyecto realizando un plano del sistema de producción de vapor del laboratorio de transferencia de calor II para tener una visión más detallada de cómo funciona el sistema y como este se involucra con los demás equipos de la instalación, con el fin de trazar los límites del sistema que se estudiarán en este proyecto. A lo largo del desarrollo de los planos se caracterizó el sistema de producción de vapor del laboratorio donde encontramos diferentes equipos e instrumentos utilizados para que la caldera y su quemador operen de manera satisfactoria, estos elementos como manómetros, termómetros, indicadores de nivel, entre otros. Serán de utilidad para concretar los balances de masa y energía de ambas unidades por medio de una cuantificación de variables.

Después de caracterizar el sistema de producción de vapor se cuantificaran variables con la ayuda de los instrumentos mencionados anteriormente y otros que se proponen, ya que los instrumentos actuales no permiten realizar los balances completamente. Un ejemplo de este problema es el gas de combustión. Actualmente no existe un instrumento que permita cuantificar los compuestos, sus concentraciones o su temperatura lo cual deja el balance incompleto. Completar los balances de masa y energía permite cuantificar las pérdidas globales de calor y la eficiencia de los equipos determinando que combustible es más eficiente disminuyendo las emisiones al medio ambiente.

Teniendo esto en cuenta se determinan como variables influyentes en el desarrollo de los balances de energía y masa para la cuantificación de la eficiencia y pérdidas de calor en el sistema aquellas que son independientes como presión y temperatura y de las cuales dependen otras variables como la entalpia. Para completar el esquema de laboratorio y el conjunto de variables se propone la compra de equipos de medición como medidores de flujo y termopares los cuales cuantificaran las variables necesarias para completar los balances y obtener las respectivas eficiencias tanto de la caldera como del quemador.

Se concluye que la caracterización nos permitió detectar que instrumentos teníamos, que necesitábamos y como esta necesidad afectaba directamente los demás objetivos de la investigación. Si bien la instrumentación digital provee una precisión muy alta y rangos de medición bastante amplios, también es sabido que es costosa, razón por lo cual, para reducir costos se recurre a equipos análogos con la mayor precisión posible. Se concluye también que los balances dependen estrechamente del tipo de combustible utilizado ya que el gas de combustión es el que efectúa la transferencia de calor convirtiendo el agua en vapor y este vapor es una medida real de la potencia de la caldera.

Palabras clave: Poder calorífico, Entalpia, Entalpia de reacción, emisiones, eficiencia.

## INTRODUCCION

El calentamiento global ha sido uno de los problemas que ha afectado la forma de vivir de los seres humanos y por la cual se han preocupado las últimas décadas. A nivel global se han incrementado los esfuerzos por disminuir y evitar el deterioro de la atmosfera ocasionada por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos gases son producidos en su mayoría por la combustión de combustibles fósiles para la producción de energía como lo son el carbón, gas natural, petróleo y sus derivados.

Los combustibles fósiles son utilizados en plantas de generación de energía eléctrica ya sea en ciclos de vapor, gas o combinados donde se utilizan como combustibles y sus acciones conllevan al accionamiento de una turbina. Esta situación hace relevante el estudiar formas de viabilizar el uso de biocombustibles en máquinas como los quemadores de las calderas para disminuir la generación de emisiones y evaluar su desempeño en aplicaciones energéticas. Es de gran importancia la evaluación del uso de biocombustibles como el biodiesel y bioetanol en equipos finales de combustión tales como calderas para reducir los niveles de contaminación en el sector energético.

El objetivo del presente proyecto es realizar un diseño de un sistema que permita la evaluación de biocombustibles en una caldera a escala de laboratorio teniendo en cuenta las diferentes variables y parámetros de operación. Para llevar a cabo este estudio se utilizará la infraestructura del laboratorio de transferencia de calor II de la Fundación Universidad de América el cual cuenta actualmente con una caldera piro tubular de tiro forzado para ACPM.

El contenido del presente documento comienza con una revisión bibliográfica de los temas concernientes a la obtención del objetivo planteado. Las generalidades buscan introducir al lector en los conceptos técnicos básicos para el control de calderas teniendo en cuenta temas de gran importancia como la combustión, la producción de vapor, las emisiones, como se miden y como afectan la eficiencia del sistema. Se explican algunas técnicas que pueden mejorar la eficiencia a través del diseño; de igual forma se explica la funcionalidad de la instrumentación que se propone.

A continuación se explicara el contenido de los diferentes capítulos de este proyecto:

Capítulo 1 busca introducir al lector en los conceptos técnicos básicos para el control de calderas teniendo en cuenta temas de gran importancia como la combustión, exceso de aire y los gases de combustión. Se hace referencia a los combustibles empleados en las calderas que para efectos prácticos del proyecto solo se manejaran líquidos ya que el quemador funciona solamente con



combustibles en esta fase. Se describen los contaminantes más importantes que se producen a partir del proceso de combustión, como afectan el medio ambiente y como se puede efectuar un control sobre estos a través de diferentes técnicas. Por último se mencionan los tipos de calderas y se realiza una breve descripción.

Capítulo 2 discute sobre técnicas de control utilizadas en calderas, se explica cómo están involucradas en los procesos que incluyen este tipo de equipos, que variables pueden cuantificar y como estos valores se pueden usar para mejorar la eficiencia de la caldera.

Capítulo 3 se plantea el diseño del sistema propuesto para el proyecto donde en primer lugar se realiza una caracterización técnica del sistema de producción de vapor y las partes que lo componen así como la realización de planos y los requerimientos de mantenimiento. En segundo lugar, se establecen las variables más influyentes para la evaluación de eficiencias en el equipo de producción de vapor incluyendo los sistemas de combustión, transferencia de calor y pérdidas globales de calor. Finalmente se diseña y/o selecciona la instrumentación requerida para realizar la evaluación del biocombustible o sus mezclas en la caldera.

Capítulo 4 Se realiza una breve discusión del sistema propuesto así como el desarrollo de la base de cálculo en Microsoft Excel.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseño de un sistema para la evaluación de biocombustibles en la producción de vapor en la caldera del laboratorio de transferencia de calor II

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Realizar la caracterización técnica del sistema de producción de vapor instalado en el laboratorio de transferencia de calor. Esto incluye identificación de partes, realización de planos y requerimientos de mantenimiento.
- ✓ Definir los parámetros operacionales más influyentes para la evaluación de eficiencias en el equipo de producción de vapor incluyendo los sistemas de combustión, transferencia de calor y pérdidas globales de calor.
- ✓ Diseñar y/o seleccionar los equipos que componen el sistema para llevar a cabo la evaluación de biocombustibles y/o mezclas de biocombustibles en la caldera.
- ✓ Generar un documento que incluya planos, manuales de operación y mantenimiento del sistema diseñado.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 COMBUSTION

Es una reacción química en la que un oxidante reacciona rápidamente con un combustible para liberar energía almacenada como energía térmica, generalmente en forma de gases de alta temperatura. También se producen pequeñas cantidades de energía electromagnética, energía eléctrica y energía mecánica durante la combustión. Excepto en aplicaciones especiales, el oxidante para la combustión es el oxígeno en el aire. Los combustibles convencionales contienen principalmente hidrógeno y carbono, en forma elemental o en diversos compuestos. Su combustión completa produce principalmente dióxido de carbono y agua<sup>1</sup>.

Debe mencionarse que poner un combustible en estrecho contacto con el oxígeno no es suficiente para iniciar la combustión. El combustible debe llevarse por encima de su temperatura de ignición para iniciar la combustión. Además, las proporciones del combustible y del aire deben ser adecuadas<sup>2</sup>.

**1.1.1 Combustión Estequiometria.** El proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico se conoce como combustión estequiométrica o teórica de ese combustible. Después de la combustión estequiométrica todo el carbono, azufre e hidrógeno se oxida y forman H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. La cantidad mínima de aire necesaria para la combustión completa de un combustible recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico. De manera que cuando un combustible se quema por completo con aire teórico, no estará presente el oxígeno sin combinar el producto de los gases. El aire teórico también se conoce como cantidad de aire químicamente correcta o aire 100 por ciento teórico. Un proceso de combustión con cantidad de aire menor ocasionara que el proceso de combustión sea incompleto<sup>3</sup>.

**1.1.2 Combustión Completa.** Con la combustión completa del combustible, todo el hidrógeno y el carbono se oxidan para formar H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> respectivamente. Generalmente, la combustión completa requiere exceso de oxígeno o exceso de aire más allá de la cantidad teóricamente requerida para oxidar el combustible. El exceso de aire suele expresarse como un porcentaje del aire requerido para oxidar completamente el combustible<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook Fundamentals. Inch-Pound Edition ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2009. 1615831703. p.28.1

<sup>2</sup> Cengel, Y. A., & Boles, M. A. Termodinámica. 7 ed. Agencia Reforma, 2013. p. 773

<sup>3</sup> Ibid., p.776

<sup>4</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook Fundamentals. Inch-Pound Edition ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2009. 1615831703. p. 28.1

**1.1.3 Combustión Incompleta.** La combustión incompleta se produce cuando un elemento combustible no se oxida completamente durante la combustión. Por ejemplo, un hidrocarburo puede no oxidarse completamente a dióxido de carbono y agua, pero puede formar compuestos parcialmente oxidados, tales como monóxido de carbono, aldehídos y cetonas. Las condiciones que promueven la combustión incompleta incluyen una mezcla insuficiente de aire y combustible, suministro insuficiente de aire a la llama, choque de llama en una superficie fría o temperatura de llama demasiado baja. La combustión incompleta utiliza combustible de manera ineficiente, puede ser peligrosa debido a la producción de monóxido de carbono y contribuye a la contaminación del aire<sup>5</sup>.

**1.1.4 Exceso de aire.** En los procesos de combustión reales es una práctica común emplear más aire que la cantidad estequiométrica, con el fin de aumentar las oportunidades de combustión completa o para controlar la temperatura de la cámara de combustión. La cantidad de aire en exceso de la cantidad estequiométrica se llama exceso de aire. Cantidades de aire menores que la cantidad estequiométrica reciben el nombre de deficiencia de aire, y se expresan a menudo como deficiencia de aire porcentual. La cantidad de aire utilizado en procesos de combustión se expresa también en términos de la relación de equivalencia, la cual es la proporción entre la relación real combustible-aire y la relación estequiométrica combustible-aire<sup>6</sup>.

**1.1.5 Gases de combustión.** Los gases de combustión son el resultado de cualquier tipo de combustión ya sea completa o incompleta y contienen productos de la combustión así como el exceso de aire. Es importante poder predecir la temperatura del punto de rocío, ya que las gotas de agua se combinan a menudo con el dióxido de azufre que puede estar presente en los gases de combustión, formando ácido sulfúrico, que es altamente corrosivo<sup>7</sup>.

## 1.2 COMBUSTIBLE

El tipo de combustible empleado en la caldera influye de manera significativa tanto en su operación como desempeño. Las características del combustible pueden variar dependiendo del método de refinación, materia prima, incluso de las máquinas que componen el proceso. A continuación se discutirá a cerca de las características más importantes de los combustibles líquidos.

---

<sup>5</sup> Ibid., p.28.2

<sup>6</sup> Cengel, Y. A., & Boles, M. A. Termodinámica. 7 ed. Agencia Reforma, 2013. p.777

<sup>7</sup> Ibid., p.773

**1.2.1 Combustibles líquidos.** Los combustibles utilizados en las calderas incluyen los productos de petróleo más pesados que son menos volátiles que la gasolina. Se dividen en dos clases, destilado y residual. Los aceites destilados son más ligeros que los aceites residuales con una consistencia entre el queroseno y el aceite lubricante, tienen una viscosidad baja y son típicamente libres de sedimentos y cenizas. Debido a que los aceites destilados son combustibles relativamente limpios, se usan principalmente para calefacción doméstica y aplicaciones industriales donde es importante tener bajo nivel de ceniza y azufre. Se utilizan cantidades menores de aceite de destilado en aplicaciones de generación de vapor como combustible de arranque o suplementario para ciertos procesos de combustión de combustible sólido<sup>8</sup>.

**1.2.2 Contenido energético.** El poder calorífico del combustible, se define como la cantidad de calor liberado cuando un combustible se quema por completo en un proceso de flujo estacionario y los productos vuelven al estado de los reactivos. El poder calorífico depende de la fase del H<sub>2</sub>O en los productos. Por ende, el poder calorífico recibe el nombre de poder calorífico superior (PCS o HHV) cuando el H<sub>2</sub>O en los productos está en forma líquida, y se llama poder calorífico inferior (PCI o LHV) cuando el H<sub>2</sub>O en los productos está en forma de vapor<sup>9</sup>.

El poder calorífico del combustible se deriva principalmente de sus dos componentes principales, el hidrógeno y el carbono. La mayoría de los aceites combustibles tienen un contenido de hidrógeno que oscila entre 10 y 14%, y un contenido de carbono que oscila entre 86 y 90%. Otros componentes en los aceites combustibles incluyen nitrógeno, azufre, cenizas e impurezas tales como humedad y sedimentos<sup>10</sup>.

### 1.3 EMISIONES

Las emisiones representan un factor determinante en la evaluación de combustibles y del proceso de combustión. Las principales emisiones generadas en el proceso de combustión se enlistan en la Tabla 1 y se muestra su causa y su principal impacto en el medio ambiente.

---

<sup>8</sup> OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002. p.3-7

<sup>9</sup> Cengel. Op. cit., p.784

<sup>10</sup> OLAND. Op. cit., p.3-8

**Tabla 1.** Emisiones producidas por la reacción de combustión y sus efectos.

<b>Emisiones</b>	<b>Fuente</b>	<b>Efectos</b>
CO <sub>2</sub> (Dióxido de carbono)	Combustión completa del carbono en el combustible.	Gas de efecto invernadero
CO (Monóxido de carbono)	Combustión Incompleta del carbono en el combustible.	Smog.
SO <sub>2</sub> (Dióxido de azufre)	Combustión del azufre en el combustible.	Smog, lluvia acida.
NO <sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno)	Subproducto de la mayoría de procesos de combustión.	Lluvia acida.
N <sub>2</sub> O (Óxido nitroso)	Subproducto de algunos procesos de combustión.	Gas de efecto invernadero
H <sub>2</sub> O (vapor de agua)	Combustión del hidrogeno en el combustible.	Niebla localizada, Smog.
Partículas (Polvo, hollín)	Carbono e hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados, también ceniza y suciedad en el combustible.	Smog.
Compuestos halogenados	Compuestos den combustible o aire de combustión que contenga halogenados.	Calentamiento global.

CIPEC, Canadá. Environmental impacts of combustión. [En línea] Encontrado en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6695> modificado por el autor. Consultado el 14 de junio del 2017.

**1.3.1 Óxidos de Nitrógeno.** Durante el proceso de combustión, el NO<sub>x</sub> es uno de los principales contaminantes emitidos en la atmósfera. En este contexto, los NO<sub>x</sub> se refieren a las emisiones acumuladas de óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y trazas de otras especies de este elemento que se enlistan en la Tabla 2<sup>11</sup>.

Aunque las fuentes móviles son el mayor contribuyente a la formación de NO<sub>x</sub>, la combustión de cualquier combustible fósil genera algún nivel de NO<sub>x</sub> debido a las altas temperaturas y la disponibilidad de oxígeno y nitrógeno tanto del aire como del combustible. Una vez que el gas de combustión sale de la columna de gas que se forma dentro de la caldera, la mayor parte del óxido nítrico emitido es eventualmente oxidado en la atmósfera a dióxido de nitrógeno<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Ibid., p.3-12

<sup>12</sup> Ibid., p.3-12

**Tabla 2.** Óxidos de nitrógeno.

<b>Formula</b>	<b>Nombre</b>	<b>Propiedades</b>
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso	Gas incoloro, soluble en agua
NO	Óxido nítrico	Gas incoloro, ligeramente soluble en agua
N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Dióxido de dinitrogeno	Gas incoloro, ligeramente soluble en agua
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trióxido de dinitrogeno	Solido negro, soluble en agua, se descompone en agua
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno	Gas rojo-café, muy soluble en agua, se descompone en agua
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Tetraoxido de dinitrogeno	Gas rojo-café, muy soluble en agua, se descompone en agua
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentaoxido de dinitrogeno	Solido blanco, muy soluble en agua, se descompone en agua

Fuente: OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002. p. 3-12 modificado por el autor. Consultado el 16 de junio del 2017.

Dispersado en la atmósfera, el dióxido de nitrógeno reacciona para formar contaminantes secundarios como la lluvia ácida. Cuando el NO<sub>x</sub> reacciona con el vapor de agua y el aire, forma ácido nítrico muy diluido. El control de la lluvia ácida se ha centrado principalmente en la reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub>, ya que se calcula que los NO<sub>x</sub> contribuyen con menos de un tercio de la lluvia ácida generada<sup>13</sup>.

Existen dos mecanismos comunes de formación de NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> térmico y NO<sub>x</sub> de combustible. NO<sub>x</sub> térmico se refiere a los NO<sub>x</sub> que se formaron a través de la oxidación a alta temperatura del nitrógeno que se encuentra en el aire de combustión. La tasa de formación de NO<sub>x</sub> térmico es una función de la temperatura. Niveles significativos de NO<sub>x</sub> por lo general se forman por encima de 1400°C. A estas altas temperaturas la tasa de NO<sub>x</sub> térmico aumenta exponencialmente donde el nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>) en el aire de combustión pueden disociarse en sus estados atómicos y participar en una serie de reacciones. Un producto de estas reacciones es NO. A temperaturas inferiores a 760°C, el NO se genera en concentraciones mucho más bajas. Normalmente, la formación de NO<sub>x</sub> térmico se controla reduciendo las temperaturas promedio y pico de la llama<sup>14</sup>.

El NO<sub>x</sub> combustible implica la conversión de nitrógeno unido al combustible como el carbón y el petróleo a NO<sub>x</sub> durante la combustión. El nitrógeno que se encuentra en combustibles como el carbón y los aceites residuales está normalmente unido al combustible como parte de los compuestos orgánicos. Durante la combustión, el nitrógeno se libera como radical libre para formar

<sup>13</sup> Ibid., p.3-12

<sup>14</sup> Ibid., p.3-12

finalmente NO o N<sub>2</sub>. Aunque es un factor importante en las emisiones de NO<sub>x</sub>, sólo el 20 al 30% del nitrógeno unido al combustible se convierte en NO<sup>15</sup>.

**1.3.2 Dióxido de Azufre.** El azufre en la mayoría de los combustibles fósiles se deriva principalmente de la descomposición de la materia vegetal y animal, el cual se origina como sulfuro de hidrógeno, un subproducto del proceso de desintegración. Otras fuentes de azufre en el combustible incluyen sulfito de hierro y sulfato de hierro. La combustión de combustibles que contienen azufre resulta en la creación de SO<sub>2</sub><sup>16</sup>.

Las dos principales fuentes industriales de emisiones de azufre son la combustión de combustibles fósiles y la refinación del mineral metalúrgico. Cuando el SO<sub>2</sub> se oxida en la atmósfera, se convierte en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Existen dos mecanismos mediante los cuales se forma ácido sulfúrico. El SO<sub>2</sub> gaseoso puede combinarse con agua líquida para formar una solución acuosa diluida de ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), que se oxida en la atmósfera para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. El SO<sub>2</sub> gaseoso también puede oxidarse en la atmósfera para producir SO<sub>3</sub> gaseoso, que se combina con vapor de agua para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>17</sup>.

El control de las emisiones de dióxido de azufre se realiza con el uso de combustibles con un nivel de azufre bajo y aunque esto pueda cumplir con los niveles de contaminación permitidos puede tener efectos negativos en el desempeño de la caldera. El uso de depuradores húmedos o secos es a menudo una opción viable. Estas técnicas de postcombustión para controlar las emisiones de SO<sub>2</sub> son muy eficientes y su instalación permite el uso continuo de las fuentes de combustible existentes, haciendo innecesarios cambios importantes en las operaciones de la caldera<sup>18</sup>.

**1.3.3 Monóxido de Carbono.** El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inoloro formado cuando el carbono en los combustibles no se quema completamente. En ciertas ciudades, los automóviles causan hasta el 95% de todas las emisiones de CO. Otras fuentes de emisiones de CO incluyen procesos industriales y combustión de combustible en calderas e incineradores. El control del proceso de combustión es muy importante para el funcionamiento eficiente de la caldera<sup>19</sup>.

---

<sup>15</sup> Ibid., p.3-13

<sup>16</sup> Ibid., p.3-14

<sup>17</sup> Ibid., p.3-14

<sup>18</sup> Ibid., p.3-15

<sup>19</sup> Ibid., p.3-15



La combustión incompleta del combustible representa una energía desperdiciada y resulta en un aumento de las emisiones de CO y materia particulada. Aunque la combustión de combustibles líquidos y gaseosos típicamente produce emisiones de CO muy bajas, el control del carbono no quemado en las calderas que queman combustible sólido es una importante preocupación operativa y de diseño. La combustión completa del carbono depende de las propiedades del combustible, las calderas, las características del sistema de ignición, y las condiciones de operación de la unidad. Los principales factores que influyen en la combustión completa del carbono incluyen: La reactividad del combustible, la eficiencia de la mezcla aire-combustible, el exceso de aire disponible para la combustión completa, el tiempo de residencia, entre otros<sup>20</sup>.

**1.3.4 Materia Particulada.** La combustión de cualquier combustible que contenga material inorgánico que no se oxida da como resultado la formación de cenizas. Las cenizas así como cualquier partícula de carbón no quemada se denominan colectivamente materia particulada o cenizas volantes. La materia particulada fina incluye polvo, humo y hollín, que pueden ser emitidos durante la combustión de ciertos combustibles como el carbón y la madera. El tamaño de partícula se mide en micrómetros o micras. Dependiendo de la concentración, estas partículas finas pueden afectar adversamente la respiración y contribuir a una visibilidad pobre<sup>21</sup>.

Todos los carbones contienen cierta cantidad de ceniza. Los aceites residuales tienen más cenizas que los aceites destilados, pero ambos tipos tienen menos cenizas que el carbón. El gas natural es esencialmente libre de cenizas, pero puede tener una pequeña cantidad de emisiones de partículas. Antes de que el gas de combustión sea descargado a la atmósfera, a menudo es necesario eliminar la mayor cantidad posible de materia particulada. Tres técnicas actualmente utilizadas para este propósito, ya sea solas o en combinación, incluyen: colectores mecánicos, precipitadores electrostáticos y filtros<sup>22</sup>.

## 1.4 CALDERAS

Las calderas son máquinas térmicas para la producción de vapor que varían mucho en cuanto a los diseños y tamaños, estas difieren en cuanto al tipo de combustible utilizado y su propósito de operación. Algunas son capaces de producir vapor mientras que otras producen agua caliente. El propósito de cualquier caldera es convertir la energía química del combustible en energía térmica para los dos propósitos anteriormente mencionados. Esto se lleva a cabo en 2 pasos fundamentales los cuales son: primero, se combina el combustible con una cantidad suficiente de oxígeno para obtener una combustión sostenida en el

---

<sup>20</sup> Ibid., p.3-15

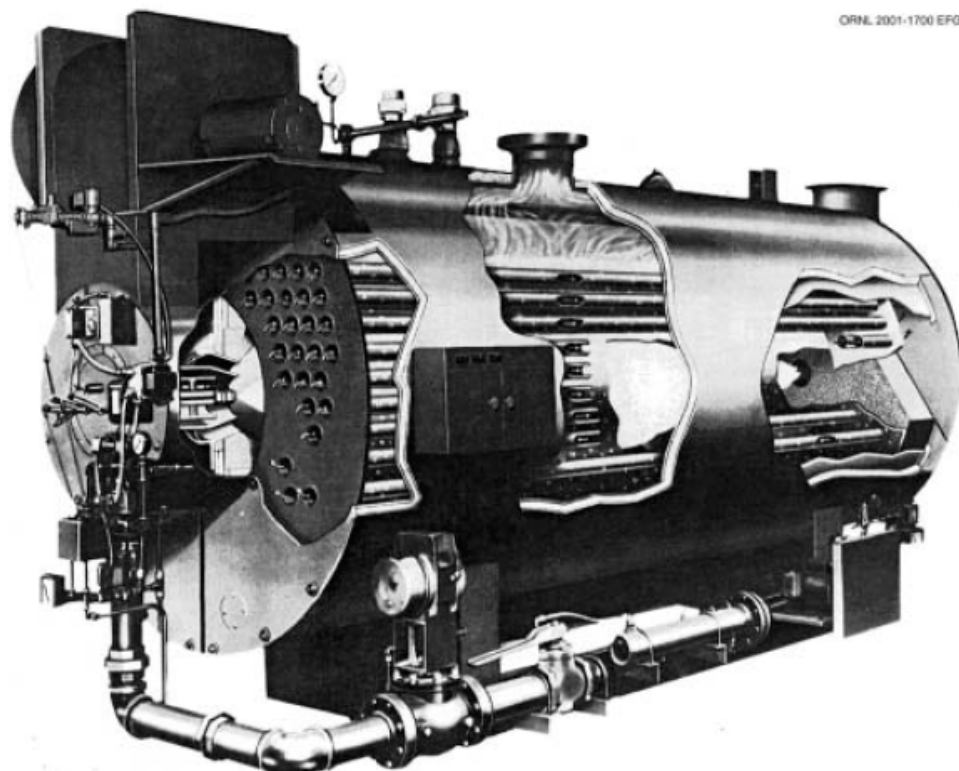
<sup>21</sup> Ibid., p.3-15

<sup>22</sup> Ibid., p.3-15

quemador, en segundo lugar, los gases de combustión generados por la reacción en el quemador son utilizados para transferir la energía térmica al agua o al vapor según sea el caso. Las calderas se pueden clasificar en dos grandes tipos las cuales son calderas pirotubulares y acuotubulares<sup>23</sup>.

**1.4.1 Calderas Pirotubulares.** Las calderas pirotubulares consisten en una serie de tubos rectos que se alojan dentro de una coraza llena de agua. Los tubos están dispuestos de manera que los gases de combustión calientes fluyen a través de los tubos. A medida que los gases calientes fluyen a través de los tubos, calientan el agua que rodea los tubos. El agua está confinada por la coraza de la caldera y para evitar la necesidad de una capa externa gruesa, las calderas pirotubulares se utilizan para aplicaciones de baja presión. Este tipo de calderas se caracteriza por el número de pasos, esto quiere decir la cantidad de veces que circula el gas dentro de los tubos de la caldera. Estas pueden ser configuradas de 1 a 4 pasos dependiendo de la construcción. La mayoría de este tipo de calderas utiliza combustibles como aceite combustible, gas, biomasa, entre otros<sup>24</sup>.

Figura 1. Configuración caldera piro tubular HRT.



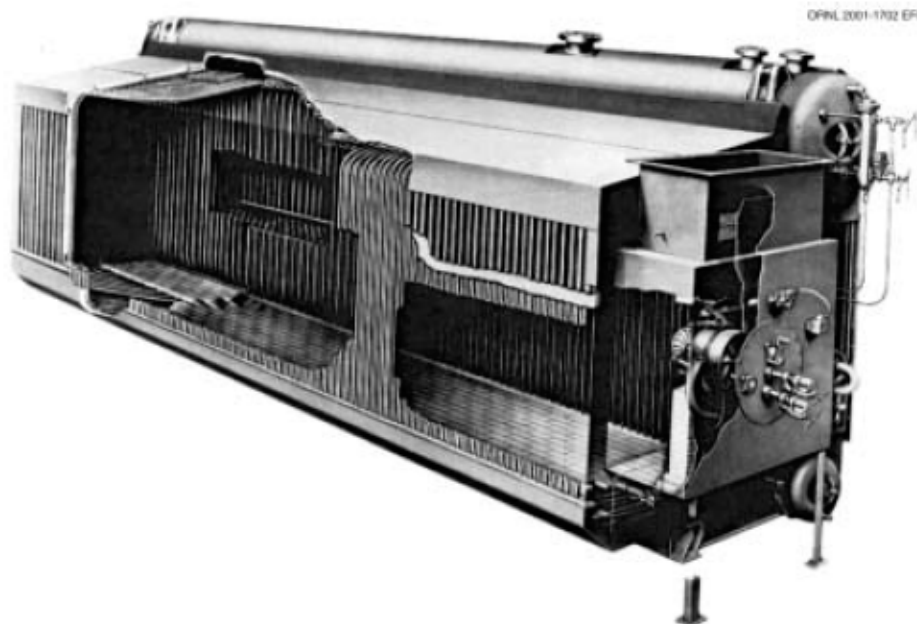
Fuente: OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002. p. 2-3. Consultado 16 de junio 2017.

<sup>23</sup> Ibid., p.2-1

<sup>24</sup> Ibid., p.2-2

**1.4.2 Calderas Acuotubulares.** Las calderas acuotubulares están diseñadas para circular los gases de combustión calientes alrededor del exterior de un gran número de tubos llenos de agua. Los tubos se extienden entre un cabezal superior, llamado tambor de vapor, y uno o más cabezales inferiores o tambores. La presión al estar confinada en los tubos, hace que este tipo de caldera se utilice en aplicaciones de alta presión y puede quemar generalmente cualquier tipo de combustible ya sea líquido, sólido o gaseoso. Dependiendo de su construcción y el tipo de combustible utilizado cambia la forma en la que se alimenta la caldera con el combustible y pueden ser adaptadas para utilizar otro tipo de combustible diferente al que originalmente utilizaría según su método fabricación<sup>25</sup>.

Figura 2. Configuración caldera acuotubular.



Fuente: OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002. p.2-5.

**1.4.3 Condensación vs no condensación.** Las calderas de diseño tradicional deben funcionar sin condensar los gases de combustión en la caldera. Esta precaución era necesaria para prevenir la corrosión de piezas de hierro fundido, acero o cobre. Las unidades de agua caliente se operaron a una temperatura mínima de 60 ° C para evitar la corrosión y para reducir la probabilidad de choque térmico. Debido a que se puede lograr una mayor eficiencia de la caldera con una temperatura de agua inferior, la caldera de condensación permite que el vapor de agua de los gases de combustión se condense y drene<sup>26</sup>.

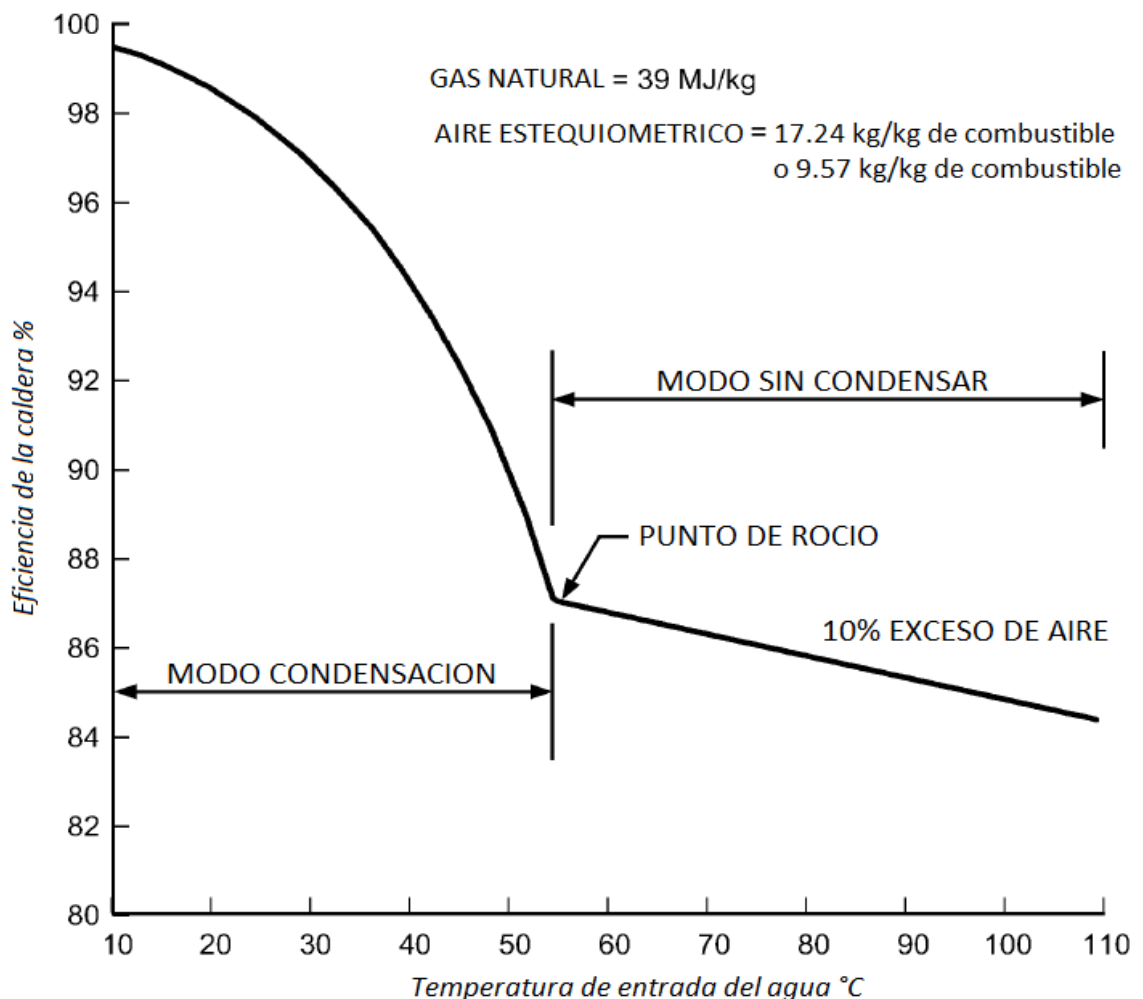
---

<sup>25</sup> Ibid., p.2-5

<sup>26</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. P.31.3

Las calderas de condensación se suministran generalmente con quemadores de modulación de alto voltaje y son más eficientes que las calderas sin condensación a cualquier temperatura de retorno de agua (RWT), incluidas las aplicaciones de temperatura sin condensación. Las eficiencias de las calderas sin condensación deben ser limitadas para evitar la condensación potencial y la corrosión. Pueden obtenerse mayores eficiencias utilizando un RWT inferior o un  $\Delta t$  superior como se recomienda por la ASHRAE<sup>27</sup>. En la gráfica 1 se muestra el efecto de la temperatura del agua en la eficiencia de calderas que utilizan el método de condensación vs las que no lo utilizan.

Gráfica 1. Efecto de la temperatura del agua en la eficiencia de calderas de condensado.



Fuente: ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. p. S31.3 modificado por el autor. Consultado el 10 de julio del 2017.

<sup>27</sup> Ibid., p.31.3

## 1.5 SISTEMAS DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

Los sistemas de alimentación de combustible desempeñan un papel fundamental en el rendimiento de las calderas con un nivel bajo de emisiones. Sus principales funciones incluyen transferir el combustible a la caldera y distribuir el combustible dentro de la caldera para lograr una combustión uniforme y completa. El propósito del quemador es aumentar la estabilidad de la llama en una amplia gama de caudales creando una condición favorable para la ignición del combustible y estableciendo condiciones aerodinámicas que aseguren un buen mezclado entre el aire de combustión y el combustible. Otros elementos de su diseño y aplicación incluyen equipos para la preparación de combustible y distribución de aire-combustible, así como un sistema completo de control de combustión<sup>28</sup>.

Al igual que los combustibles gaseosos, los combustibles líquidos son también relativamente fáciles de transportar y manejar mediante el uso de bombas y redes de tuberías que conectan la caldera a un suministro de combustible, como un tanque de almacenamiento de combustible. Para promover la combustión completa, los combustibles líquidos deben atomizarse para permitir una mezcla completa con el aire de combustión. La atomización por aire, vapor o presión produce pequeñas gotitas que queman más como gas que como líquido. El control de las calderas que queman combustibles líquidos también se puede lograr usando una variedad de sistemas de control que miden el flujo de combustible<sup>29</sup>.

**1.5.1 Quemadores.** Un quemador se define como un dispositivo para inyectar combustible y aire en un horno a las velocidades, turbulencia y concentración requeridas para mantener la ignición y la combustión del combustible dentro del horno. Los quemadores para combustibles gaseosos son menos complejos que aquellos para combustibles líquidos o sólidos porque la mezcla de gas y aire de combustión es relativamente simple en comparación con el combustible líquido de atomización o dispersión de partículas de combustible sólido<sup>30</sup>.

No existe un sistema de clasificación formal para los quemadores, pero los intentos de combinar las características deseables del quemador han dado lugar a una rica diversidad en diseños. La capacidad de un quemador para mezclar el aire de combustión con el combustible es una medida de su rendimiento. Los mejores quemadores están diseñados para liberar la cantidad máxima de calor del combustible y limitar la cantidad de contaminantes como CO, NOx y PM que se liberan<sup>31</sup>.

---

<sup>28</sup> OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002. p.2-18

<sup>29</sup> Ibid., p.2-19

<sup>30</sup> Ibid., p.2-23

<sup>31</sup> Ibid., p.2-24

## 1.6 EFICIENCIA DE LA CALDERA

Cuando se diseñan sistemas para mejorar la eficiencia de la caldera es importante tener en cuenta algunas definiciones y conceptos. En el siguiente apartado se explican algunas de las pérdidas energéticas más comunes en sistemas de calderas, definiciones de eficiencia así como su forma de cuantificarla.

**1.6.1 Pérdidas en los sistemas de la caldera.** La energía química del combustible no se convierte totalmente en calor debido a que se presentan pérdidas energéticas en diferentes sistemas de la caldera. Partiendo de esa premisa se pueden categorizar las pérdidas de las calderas como pérdidas por la columna de gas de combustión al interior de la caldera, combustión incompleta del combustible y pérdidas por convección y radiación<sup>32</sup>. En el siguiente apartado solo se enlistaron los más comunes.

**1.6.2 Pérdidas por columna de gas de combustión.** La mayor pérdida de energía en la mayoría de los sistemas de calderas es la energía que se pierde a través de la columna de gas de combustión. Esta pérdida de calor se produce principalmente de tres maneras. En primer lugar un poco de calor se pierde con la humedad en el combustible, en segundo lugar con agua debido a la combustión del hidrógeno en el combustible y finalmente el calor también se pierde a través de los gases secos<sup>33</sup>.

**1.6.3 Pérdidas por combustión incompleta.** La energía puede perderse debido a la combustión incompleta del combustible en la cámara de combustión del quemador debido a la insuficiencia de aire para lograr la combustión completa. Esta es a menudo la segunda causa más grande de pérdidas energéticas para una caldera. Puede minimizarse calibrando el quemador y los ventiladores para lograr la succión de aire adecuada al interior de la caldera y darle al combustible el exceso de aire suficiente para lograr una combustión lo más completa posible<sup>34</sup>.

**1.6.4 Pérdidas por convección y radiación.** Parte del calor de la combustión escapa a través de la superficie externa de la caldera. Expresado como un porcentaje de la salida de la caldera, la pérdida aumenta a medida que la salida se reduce, por lo que es mínima cuando la caldera funciona a plena carga.

---

<sup>32</sup> CIPEC. Canada, Boilers and Heaters: Improving Energy Efficiency. [En línea] encontrado en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6689>

<sup>33</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. p.30.2

<sup>34</sup> Ibid., p.440

La pérdida relativa es mayor para las calderas más pequeñas que para las más grandes. Algunas de estas pérdidas son inevitables pero pueden ser controladas hasta cierto punto por técnicas de aislamiento adecuadas<sup>35</sup>.

## 1.7 DEFINICIONES DE EFICIENCIA

A continuación se realiza la definición de eficiencias que se debe tener en cuenta para la evaluación de combustibles para la generación de vapor en calderas y que se emplearan posteriormente a lo largo del presente proyecto.

**1.7.1 Eficiencia de la combustión.** La eficiencia de la combustión indica la capacidad de un quemador para quemar el combustible por completo. La eficiencia de la combustión puede evaluarse midiendo la cantidad de combustible que no se quema y el exceso de aire en el quemador. Cuando el combustible y el oxígeno suministrado por el aire están en perfecto equilibrio, la combustión se dice que es estequiométrica. La eficiencia de la combustión es dependiente del combustible y, en general, los combustibles gaseosos y líquidos queman más eficientemente que los combustibles sólidos ya que estos se volatilizan completamente y los combustibles sólidos tienen un mayor porcentaje de ceniza<sup>36</sup>.

**1.7.2 Eficiencia térmica.** La eficiencia térmica mide la efectividad del intercambiador de calor de la caldera para transferir calor del proceso de combustión al agua. La eficiencia térmica no tiene en cuenta las pérdidas por radiación o convección y, por lo tanto, no proporciona una indicación real del consumo de combustible de la caldera<sup>37</sup>.

**1.7.3 Eficiencia Combustible – Vapor producido.** La eficiencia del combustible a vapor producido es una medida de la eficiencia total de una caldera. Esto explica la eficiencia tanto del proceso de combustión como del intercambiador de calor, así como las pérdidas debidas a la radiación y la convección. La eficiencia de combustible a vapor producido es la medida que debe utilizarse para la evaluación económica<sup>38</sup>.

---

<sup>35</sup> CIPEC. Canadá, Fundamentals of combustion and heat losses. [En línea] encontrado en <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6691>

<sup>36</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook Fundamentals. Inch-Pound Edition ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2009. 1615831703. p.28.11

<sup>37</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. p.30.2

<sup>38</sup> ASHRAE. Op. cit., p.31.5

## 1.8 MEDICION DE LA EFICIENCIA

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) prescribe un estándar para medir la eficiencia de la caldera. El Código de Prueba de Potencia ASME, PTC 4 especifica dos métodos para determinar la eficiencia: el Método de Entrada-Salida y el Método de Pérdida de Calor. Los dos métodos se describen brevemente a continuación.

**1.8.1 Método de entrada y salida.** Este método de medición de eficiencia se basa en la salida y entrada de la caldera. La entrada y la salida, ambas expresadas en unidades térmicas británicas (BTU), se determinan mediante instrumentación y los datos resultantes se utilizan en cálculos que determinan la eficiencia de combustible a vapor producido<sup>39</sup>.

**1.8.2 Método de Pérdida de calor.** El método de medición de la eficiencia del balance térmico se basa en la contabilización de todas las pérdidas de calor de una caldera. Las pérdidas totales del gas de combustión, radiación y convección en porcentajes se restan del 100% y el valor resultante es la eficiencia de combustible a vapor de la caldera<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> ASME. ASME PTC 4.1 1964: Steam Generating Units. United States of America: 1999. p. 31

<sup>40</sup> ASME. Op. cit., p.36



## 2. SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO

### 2.1 CONTROL DE COMBUSTION

Los sistemas de control de combustión se utilizan para controlar el funcionamiento de los equipos que llevan a cabo el proceso de combustión, incluyendo la velocidad de combustión, el flujo de aire, y para mantener la relación aire / combustible requerida para satisfacer las condiciones de proceso deseadas. El uso de sistemas para el control de la combustión mejora la eficiencia del proceso manteniendo una relación aire - combustible aproximadamente constante bajo condiciones cambiantes de carga<sup>41</sup>.

**2.1.1 Esquemas de control.** La mayoría de los sistemas de control de combustión controlan variables como el exceso de aire que ingresa por el ventilador del quemador y la cantidad de combustible que entra a la cámara para lograr una alta eficiencia en el proceso de combustión. En el siguiente apartado se explicarán los sistemas de control de aire y combustible.

**2.1.2 Control de aire.** En los procesos de combustión, el aire en exceso se define generalmente como aire introducido por encima de los requisitos estequiométricos o teóricos para efectuar la combustión completa y eficiente del combustible. Hay un nivel óptimo de funcionamiento en exceso de aire para cada tipo de diseño del quemador o del horno y tipo de combustible. Sólo se debe suministrar suficiente aire para asegurar la combustión completa del combustible, ya que más de esta cantidad aumenta el calor rechazado a la columna de gas de combustión en la caldera, lo que resulta en un mayor consumo de combustible para una salida de proceso dada. Para identificar el punto de operación mínima de aire en exceso para un sistema encendido particular, las curvas de combustibles en función del exceso de O<sub>2</sub> deben construirse de forma similar a la ilustrada en la gráfica 2. Las curvas deben desarrollarse para diferentes velocidades de rotación, ya que el punto de funcionamiento mínimo de aire en exceso también variará en función de la velocidad de disparo (porcentaje de carga)<sup>42</sup>.

La gráfica 2 ilustra dos curvas potenciales para las ppm del monóxido de carbono en el gas de combustión, una para el fuego alto y la otra para el fuego bajo. El punto de ajuste óptimo del control del exceso de aire debe fijarse en algún margen (generalmente de 0,5 a 1%) por encima del punto mínimo de O<sub>2</sub> para permitir variaciones de respuesta y control. Es importante tener en cuenta que algunos

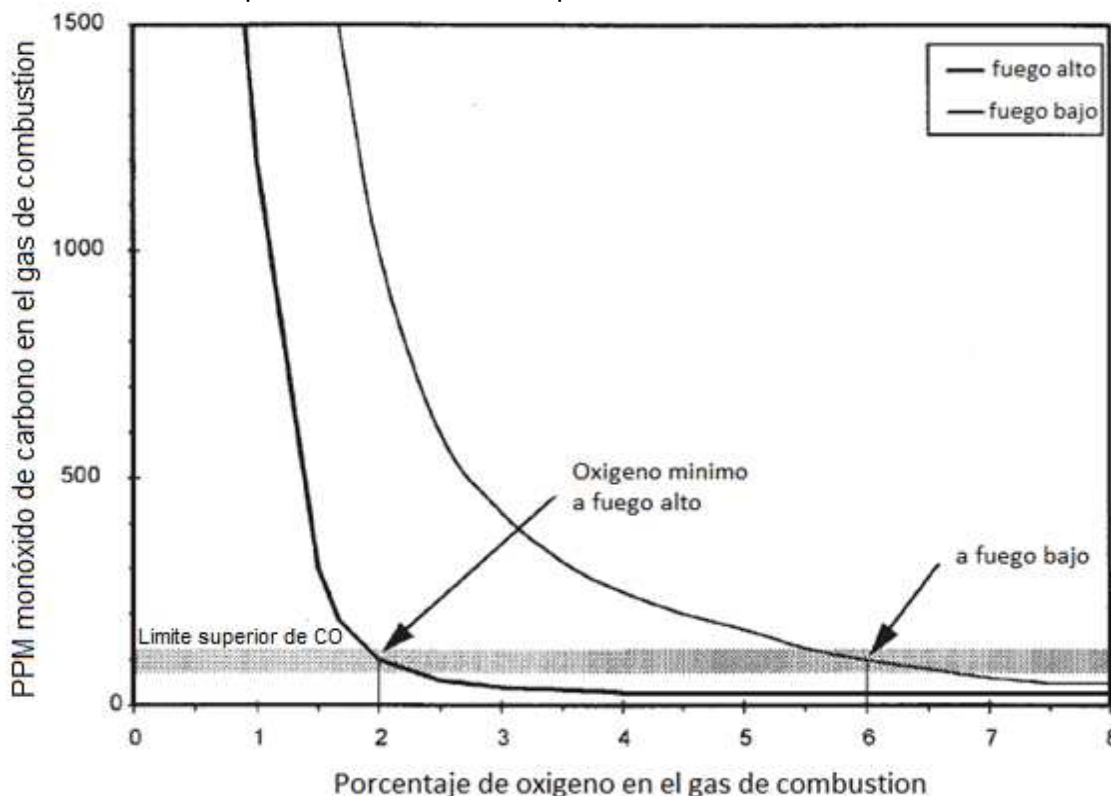
---

<sup>41</sup> Mulliger, P., & Jenkins, B. Industrial and Process Furnaces, Principles, Design and Operation. United Kingdom: Elsevier Ltd., 2008. p. 312

<sup>42</sup> Turner, W. C., & Doty, S. Energy Management Handbook. 6 ed. United States: The Fairmont Press, Inc., 2007. p.89

quemadores pueden presentar un comportamiento CO-O<sub>2</sub> gradual o pronunciado y este comportamiento puede incluso cambiar con varias velocidades de disparo. También es importante tener en cuenta que algunos quemadores pueden experimentar una operación potencialmente inestable con pequeños cambios en el O<sub>2</sub><sup>43</sup>.

Grafica 2. Curva hipotética característica para una caldera industrial.



Fuente: Turner, W. C., & Doty, S. Energy Management Handbook. 6 ed. United States: The Fairmont Press, Inc., 2007. p.91 modificado por el autor. Consultado el 25 de julio del 2017.

Para determinar la eficiencia operativa relativa y establecer beneficios de conservación de energía para un programa de control de aire excesivo, debe determinar: porcentaje de oxígeno (en volumen) en el gas de flujo (típicamente seco), temperatura de la columna de gas de combustión, (la diferencia entre la temperatura del gas de combustión y la temperatura de entrada del aire de combustión, y el tipo de combustible<sup>44</sup>.

Para lograr un control óptimo de las pérdidas evitables, es necesaria una medición continua del exceso de aire. Existen dos tipos de equipos disponibles para medir

<sup>43</sup> Ibid., p.91

<sup>44</sup> Ibid., p.92

el oxígeno de los gases de combustión y el "exceso de aire" correspondiente: equipos portátiles, como un analizador de gases orsat, un termostato, un analizador electrónico de gases o un dispositivo de análisis equivalente; instalaciones de tipo permanente analizadores de oxígeno continuo tipo sonda (disponibles de varios fabricantes), que no requieren sistemas externos de muestreo de gas<sup>45</sup>.

Tabla 3. Exceso de aire optimo según el tipo de combustible utilizado.

Combustible	Método de Ignición	Exceso de aire optimo %	O <sub>2</sub> equivalente en volumen
Gas Natural	Succión natural	20 - 30	4 - 5
Gas Natural	Succión forzada	5 - 10	1 - 2
Gas Natural	Bajo exceso de aire	0.04 – 0.02	0.1 – 0.5
Propano	-	5 - 10	1 - 2
Coque de horno a gas	-	5 - 10	1 - 2
Aceite combustible N°2	Copa giratoria	15 - 20	3 - 4
Aceite combustible N°2	Aire atomizado	10 - 15	2 - 3
Aceite combustible N°2	Vapor atomizado	10 - 15	2 - 3
Aceite combustible N°6	Vapor atomizado	10 - 15	2 - 3
Carbón	Pulverizado	15 - 20	3 – 3.5
Carbón	Parrilla	20 - 30	3.5 - 5
Carbón	Ciclón	7 - 15	1.5 - 3

Fuente: Turner, W. C., & Doty, S. Energy Management Handbook. 6 ed. United States: The Fairmont Press, Inc., 2007. p.92 modificado por el autor. Consultado el 25 de julio del 2017.

Al investigar el impacto del control del exceso de aire, es importante tener en cuenta que la proporción de aire a combustible que se controla se basa siempre en la masa más que en el volumen. Esto se debe al hecho de que la densidad del aire y los combustibles gaseosos cambian con la temperatura y la presión. Si no se contabilizan en el controlador, los cambios estacionales en temperatura y presión barométrica pueden hacer que la cantidad de exceso de aire varíe significativamente<sup>46</sup>.

**2.1.3 Control de combustible.** La capacidad de calentamiento puede ser el factor principal en la selección de las máquinas de combustión, pero la eficiencia y las emisiones son a menudo de igual importancia para los propietarios de edificios y los reguladores gubernamentales. El sistema de manejo del combustible consiste en las bombas, válvulas y accesorios para mover el combustible del vehículo de transporte a los tanques de almacenamiento y desde los tanques de almacenamiento a los quemadores de aceite. El sistema de control más simple se aplicaría a un solo quemador y un pequeño tanque de almacenamiento para el combustible, similar a una instalación de calefacción residencial<sup>47</sup>.

<sup>45</sup> Ibid., p.93

<sup>46</sup> CIPEC, Canada. Boiler and heater operational control. [en línea] disponible en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6693>

<sup>47</sup> ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. p.30.15

La figura 3 muestra una configuración compleja de suministro de aceite para dos quemadores. Para una configuración con un solo quemador, el cambio en la tubería es obvio. Para un sistema con dos o más quemadores, la línea de aceite del filtro de descarga de aceite se convierte en un colector de suministro principal y la línea de suministro de derivación para cada quemador incluye un medidor de flujo, válvula de control automático, entre otros. Para aceites livianos que no requieren calefacción, todo el equipo de calentamiento de aceite que se muestra en la Figura 3 se omitirá. Se deben usar tanto una línea de succión como una línea de retorno, a excepción del flujo por gravedad en instalaciones residenciales.<sup>48</sup>

Con el fin de lograr un funcionamiento satisfactorio desde el quemador, el combustible necesita suministrarse a una cierta presión. Por lo tanto, las bombas de combustible deben ser controladas en combinación con válvulas para mantener esta presión de combustible. Dependiendo del tipo de combustible utilizado, puede ser necesario algún monitoreo adicional. Por ejemplo, cuando se utiliza fuel oil, se debe controlar la temperatura del aceite. Los aceites pesados necesitan precalentamiento y deben mantenerse a una cierta temperatura para lograr un rendimiento óptimo. La temperatura de todos los aceites debe ser controlada para asegurar que se mantenga por debajo del punto de inflamación<sup>49</sup>.

## **2.2 OTRAS MANERAS DE MEJORAR LA EFICIENCIA**

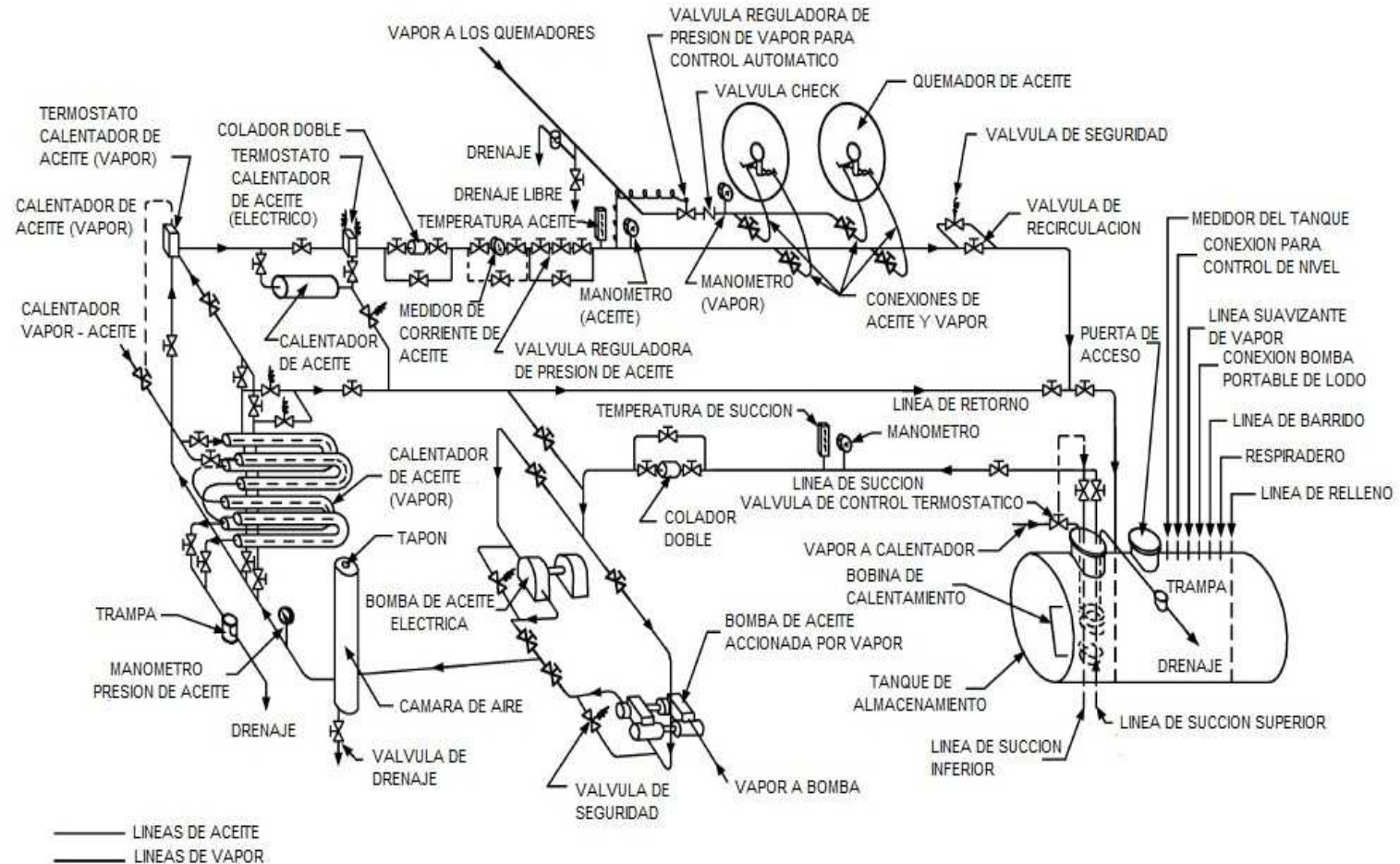
Existen diferentes maneras de mejorar la eficiencia de una caldera más allá de un sistema de control automático, por ejemplo los sistemas de control de encendido, recuperación de calor desperdiciado por los diferentes sistemas de la caldera y el sistema de purga requieren que se realicen diferentes adecuaciones para su implementación. También poseen algunas restricciones dependiendo del sistema en el que se quiera implementar, ya que el sistema objetivo del proyecto es una caldera de control automático, se describirán brevemente los sistemas mencionados.

---

<sup>48</sup> Ibid., p.30.15

<sup>49</sup> Woodruff, E. B., Lammers, H. B., & Lammers, T. F. STEAM PLANT OPERATION. 8 ed. United States: McGraw-Hill Professional, 2004. p. 315

Figura 3. Equipo auxiliar quemador industrial.



Fuente: ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008. p.30.16 modificado por el autor. Consultado el 10 de julio del 2017.

**2.2.1 Recuperación de calor.** El calor residual es aquella energía que es rechazada de un proceso a una temperatura suficientemente alta por encima de la temperatura ambiente para Permitir la recuperación de alguna fracción de esa energía para propósitos útiles<sup>50</sup>. La calidad esencial del calor no es la cantidad, sino su "valor". La estrategia de cómo recuperar este calor depende en parte de la temperatura de los gases de calor residual<sup>51</sup>.

El calor residual puede ser recuperado para diferentes propósitos. En sistemas como calderas, este calor se utiliza a través de un intercambiador de calor para calentar el aire de combustión o el agua que ingresa a la caldera. En el campo industrial estos intercambiadores se conocen a menudo con el nombre de recuperadores, economizadores, regeneradores, entre otros. Los intercambiadores industriales de gas a gas se conocen como recuperadores y los de gas a líquido como economizadores<sup>52</sup>.

**2.2.2 Control de purga.** La purga de la caldera es la eliminación del agua, su propósito es controlar los parámetros del agua de la caldera dentro de los límites prescritos para minimizar la escala, la corrosión, el arrastre y otros problemas específicos. La purga también se utiliza para eliminar los sólidos en suspensión presentes en el sistema. Estos sólidos son causados por la contaminación del agua de alimentación, por precipitados de tratamiento químico interno, o por superación de los límites de solubilidad de sales por lo demás solubles<sup>53</sup>.

El propósito principal de la purga es mantener el contenido de sólidos del agua de la caldera dentro de ciertos límites. Esto puede ser necesario por razones específicas, como la contaminación del agua de la caldera. En este caso, se requiere un alto índice de purga para eliminar los contaminantes tan rápidamente como sea posible. El índice de purga requerido para una caldera en particular depende del diseño de la caldera, las condiciones de operación y los niveles de contaminantes del agua de alimentación. En muchos sistemas, el índice de purga se determina de acuerdo con el total de sólidos disueltos. En otros sistemas, los niveles de alcalinidad, sílice o sólidos suspendidos determinan el índice de purga requerida<sup>54</sup>.

---

<sup>50</sup> Turner, W. C., & Doty, S. Energy Management Handbook. 6 ed. United States: The Fairmont Press, Inc., 2007. p.193

<sup>51</sup> Thumann, A., & Mehta, D. P. Handbook of Energy Engineering. 6 ed. Atlanta: Taylor & Francis Group, 2009. p. 111

<sup>52</sup> Ibid., p.121

<sup>53</sup> GE Power & Water: Water & Process Technologies. [En línea] encontrado en: [https://www.gewater.com/handbook/boiler\\_water\\_systems/ch\\_13\\_blowdowncontrol.jsp](https://www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/ch_13_blowdowncontrol.jsp)

<sup>54</sup> Ibid., GE Power & Water: Water & Process Technologies.

## 2.3 TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN

**2.3.1 Supervisión de combustible.** Los métodos para monitorear el combustible dependen de diferentes variables, como la sensibilidad a las características superficiales y la dependencia del caudal del combustible. A continuación sólo se describirán las técnicas utilizadas en monitoreo de combustible a nivel industrial.

**2.3.1.1 Espectro infrarrojo cercano (NIR).** El conocimiento de la composición de combustible en tiempo real se limita a mediciones continuas directas o indirectas del contenido de humedad y muestreo periódico del combustible que proporciona la composición elemental. Dado que las condiciones de funcionamiento de una unidad de proceso requieren regulación continua, esta información no es suficiente para el control del proceso y la optimización del rendimiento, especialmente cuando se consideran combustibles fuertemente heterogéneos. Por esta razón, se necesita un método de medición rápido y no destructivo para la caracterización de propiedades de combustible<sup>55</sup>.

Se pueden realizar mediciones precisas mediante la introducción de la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR). Este método óptico, con un costo bajo, sin contacto y rápido permite la caracterización cualitativa y cuantitativa de materiales sólidos y líquidos. El método se basa en la espectroscopia vibratoria y mide las interacciones entre la radiación electromagnética y los enlaces químicos de la materia en la región espectral del infrarrojo cercano (NIR). Esta técnica permite mediciones rápidas y no destructivas que pueden ser implementadas para un mejor control de los procesos de conversión de energía termoquímica que conduce a una mayor eficiencia y reducción de emisiones<sup>56</sup>.

**2.3.1.2 Microondas.** Una de las propiedades de las microondas es la capacidad de viajar a través de materiales no conductores. En los materiales con estructura molecular bipolar, (es decir, agua), el campo eléctrico de las microondas puede inducir oscilaciones mientras viajan a través del medio. Durante este proceso, las microondas pierden parte de su energía. Esta pérdida de energía aumenta con la cantidad de agua que contiene el medio, con el resultado de que a medida que aumenta la concentración de agua, menos energía llegará al otro lado del medio. El agua no sólo absorbe sino que también refleja parte de la energía de las microondas. Mediante la utilización de estos dos efectos (reflexión y absorción) se puede realizar mediciones de humedad con técnicas de microondas<sup>57</sup>.

---

<sup>55</sup> SKVARIL, Jan, et al. Fast Determination of Fuel Properties in Solid Biofuel Mixtures by Near Infrared Spectroscopy. En: Energy Procedia. vol. 105, p. 1309-1317.

<sup>56</sup> Ibid., p. 1309-1317

<sup>57</sup> Microwave moisture measurement. [En línea] encontrado en: [http://www.rgi-ms.com/html/moisture\\_principles.html](http://www.rgi-ms.com/html/moisture_principles.html)

Durante la transmisión, donde la sustancia a analizar se coloca entre el emisor de microondas y el detector, la intensidad de la microonda que llega al detector disminuye con el aumento de la humedad. El contenido de humedad puede entonces calcularse teniendo en cuenta la absorción de la sustancia seca y algunos factores geométricos. En la reflexión, el procedimiento es equivalente, excepto que tanto el emisor de micro ondas como el detector están montados en el mismo lado de la sustancia<sup>58</sup>.

**2.3.2 Supervisión de combustión.** Existen muchas dificultades a la hora de monitorear la combustión ya que debe realizarse en la cámara de combustión. Estos instrumentos deben ser resistentes a altas temperaturas y deben tener algún sistema de auto limpieza cuando el sensor es obstruido dentro de la cámara de combustión.

**2.3.2.1 Sensores ultrasónicos.** Los sensores ultrasónicos emiten pulsos de sonido cortos y de alta frecuencia a intervalos regulares. Estos se propagan en el aire a la velocidad del sonido. Si golpean un objeto, entonces se reflejan de nuevo como señales de eco al sensor, que por sí mismo calcula la distancia al objetivo en función del intervalo de tiempo entre la emisión de la señal y la recepción del eco<sup>59</sup>.

Como la distancia a un objeto se determina midiendo el tiempo de vuelo y no por la intensidad del sonido, los sensores ultrasónicos son excelentes para suprimir la interferencia de fondo. Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido se pueden detectar, independientemente de su color.<sup>60</sup>

Figura 4. Sensores ultrasónicos.



Fuente: Microsonic, ultrasonic sensors [En Línea] Encontrado en: <https://www.microsonic.de/en/distance-sensors/cylindrical/micplus.htm> Consultado el 24 de agosto del 2017.

<sup>58</sup> Ibid., Microwave moisture measurement.

<sup>59</sup> Ultrasonic technology. [en línea] encontrado en: <https://www.microsonic.de/en/support/ultrasonic-technology/principle.htm>

<sup>60</sup> Ibid., Ultrasonic technology.



Los sensores de ultrasonidos micro sónicos son adecuados para distancias de objetivo de 20 mm a 10 m y al medir el tiempo de vuelo pueden determinar una medida con precisión puntual. Algunos de los sensores pueden incluso resolver la señal con una precisión de 0.025 mm. Los sensores ultrasónicos pueden ver a través del aire cargado de polvo y las nieblas de tinta. Incluso depósitos delgados en la membrana del sensor no perjudican su función<sup>61</sup>.

**2.3.2.2 Monitoreo por cámara y video.** La calidad y eficiencia de los sistemas de combustión y la disponibilidad operacional asociada de las calderas y generadores de vapor depende esencialmente de la mezcla óptima y la dosificación del combustible y el aire de combustión en la cámara. Las perturbaciones de la relación combustible / aire local dan como resultado las siguientes condiciones de funcionamiento: Zonas de combustión localizadas con altas temperaturas de combustión y elevada formación de NOx térmico, Zonas de combustión localizadas con combustión incompleta y alta formación de CO, Desplazamiento local de la zona de combustión principal en comparación con la posición de diseño, Sobrecalentamiento local del material de construcción de la caldera, Corrosión a altas temperaturas y tensiones térmicas combinadas con rupturas de tubos de calderas, entre otras<sup>62</sup>.

El sensor de la cámara del horno suministra información visual en línea directamente desde la cámara de combustión para ayudar al operador a ajustar el proceso de combustión completo de manera óptima. Con el fin de garantizar el rango de observación más grande y sin obstáculos, los sensores junto con sus sistemas ópticos se mueven directamente a la cámara de combustión. Para soportar altas temperaturas entre 700 ° C y 1600 ° C donde los sensores están refrigerados por aire o por agua. Todas las piezas afectadas por los gases de combustión están fabricadas en acero inoxidable especial para hacer frente a las reacciones químicas y las altas temperaturas de los gases de combustión<sup>63</sup>.

**2.3.2.3 Cámara infrarroja.** Una cámara infrarroja es un dispositivo sin contacto que detecta el calor y lo convierte en una señal electrónica, que luego se procesa para producir una imagen térmica en un monitor de vídeo y realizar cálculos de temperatura. El calor detectado por una cámara de infrarrojos puede ser cuantificado o medido muy precisamente, lo que le permite no sólo monitorear el desempeño térmico, sino también identificar y evaluar la severidad relativa de los problemas relacionados con el calor. La creación de imágenes, la funcionalidad

---

<sup>61</sup> Ibid., Ultrasonic technology.

<sup>62</sup> Durag, process & systems technology. Video and temperature monitoring with furnace cámara. [En línea] encontrado en:

[https://www.sintrol.fi/images/Esite\\_Video\\_and\\_Temperature\\_Monitoring\\_with\\_Furnace\\_Camera.pdf](https://www.sintrol.fi/images/Esite_Video_and_Temperature_Monitoring_with_Furnace_Camera.pdf)

<sup>63</sup> Ibid., Durag, process & systems technology. Video and temperature monitoring with furnace cámara.

automática y el desarrollo de software de infrarrojos, ofrecen soluciones de análisis térmico adecuado<sup>64</sup>.

**2.3.3 Supervisión de los gases de combustión.** La determinación de la composición del gas de combustión es una de las actividades más importantes en la determinación de eficiencias en los diferentes procesos que ocurren en una caldera para la producción de vapor. A continuación se describen los métodos más usados en la determinación de la composición del gas de combustión.

**2.3.3.1 Sensor lambda.** El sensor lambda, también conocido como sensor de oxígeno, fue desarrollado originalmente por Robert Bosch en 1967. Desde entonces ha evolucionado considerablemente y es estándar en todos los vehículos de motor de gasolina para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones. Debido a la amplitud de uso de los sensores lambda, existe un amplio conocimiento sobre su función y comportamiento. También son producidos en masa por lo que son relativamente baratos y fáciles de encontrar. Debido al bajo precio, pueden considerarse una solución viable para todos los tamaños de sistemas de calderas<sup>65</sup>.

**2.3.3.2 Espectroscopia.** La espectroscopia es una técnica que utiliza la interacción de la energía con una muestra para realizar un análisis. Los datos que se obtienen de la espectroscopia se llaman espectro. Un espectro es un gráfico de la intensidad de energía detectada frente a la longitud de onda (o masa o momento o frecuencia, entre otros.) de la energía. Se puede utilizar un espectro para obtener información sobre niveles de energía atómica y molecular, geometrías moleculares, enlaces químicos, interacciones de moléculas y procesos relacionados<sup>66</sup>.

A menudo, los espectros se utilizan para identificar los componentes de una muestra (análisis cualitativo). Los espectros también se pueden usar para medir la cantidad de material en una muestra. Existen varios instrumentos que se utilizan para realizar un análisis espectroscópico. En términos más simples, la espectroscopia requiere una fuente de energía (comúnmente un láser, pero podría ser una fuente de iones o una fuente de radiación) y un dispositivo para medir el cambio en la fuente de energía después de interactuar con la muestra (frecuentemente un espectrofotómetro o interferómetro)<sup>67</sup>.

---

<sup>64</sup> Flir, How does an IR camera Works. [En línea] encontrado en: <http://www.flir.com/corporate/display/?id=41523>

<sup>65</sup> Robert Bosch GmbH. Bosch lambda sensor. [En línea] encontrado en: <http://www.bosch-lambdasonde.de/en/umweltzuliebe.htm>

<sup>66</sup> ThoughtCo. Spectroscopy introduction. [En línea] encontrado en: <https://www.thoughtco.com/introduction-to-spectroscopy-603741>

<sup>67</sup> Ibid., ThoughtCo. Spectroscopy introduction.

### **3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE VAPOR DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR II**

Este capítulo explica cómo se seleccionó y/o diseño el sistema para la evaluación de biocombustibles líquidos en el sistema de producción de vapor en la caldera del laboratorio de transferencia de calor II de la Universidad de América. Se describe como se realizó en primera instancia un diagnóstico del sistema actual mostrando cada una de las partes que lo componen. Posteriormente se determinaron las variables más influyentes en el proceso las cuales servirán de guía para proponer el sistema de evaluación de biocombustibles y finalmente se muestra el diseño y la instrumentación seleccionada.

#### **3.1 METODOLOGÍA**

La meta del proyecto es llevar a cabo el diseño de un sistema de evaluación de biocombustibles según un conjunto de variables que se determinaran como influyentes en el desarrollo del proyecto. El diseño que se propone, será explicado en detalle más adelante y será suficiente para el control del sistema según las variables seleccionadas ya que se proponen algunas mejoras y no una transformación completa del sistema actual.

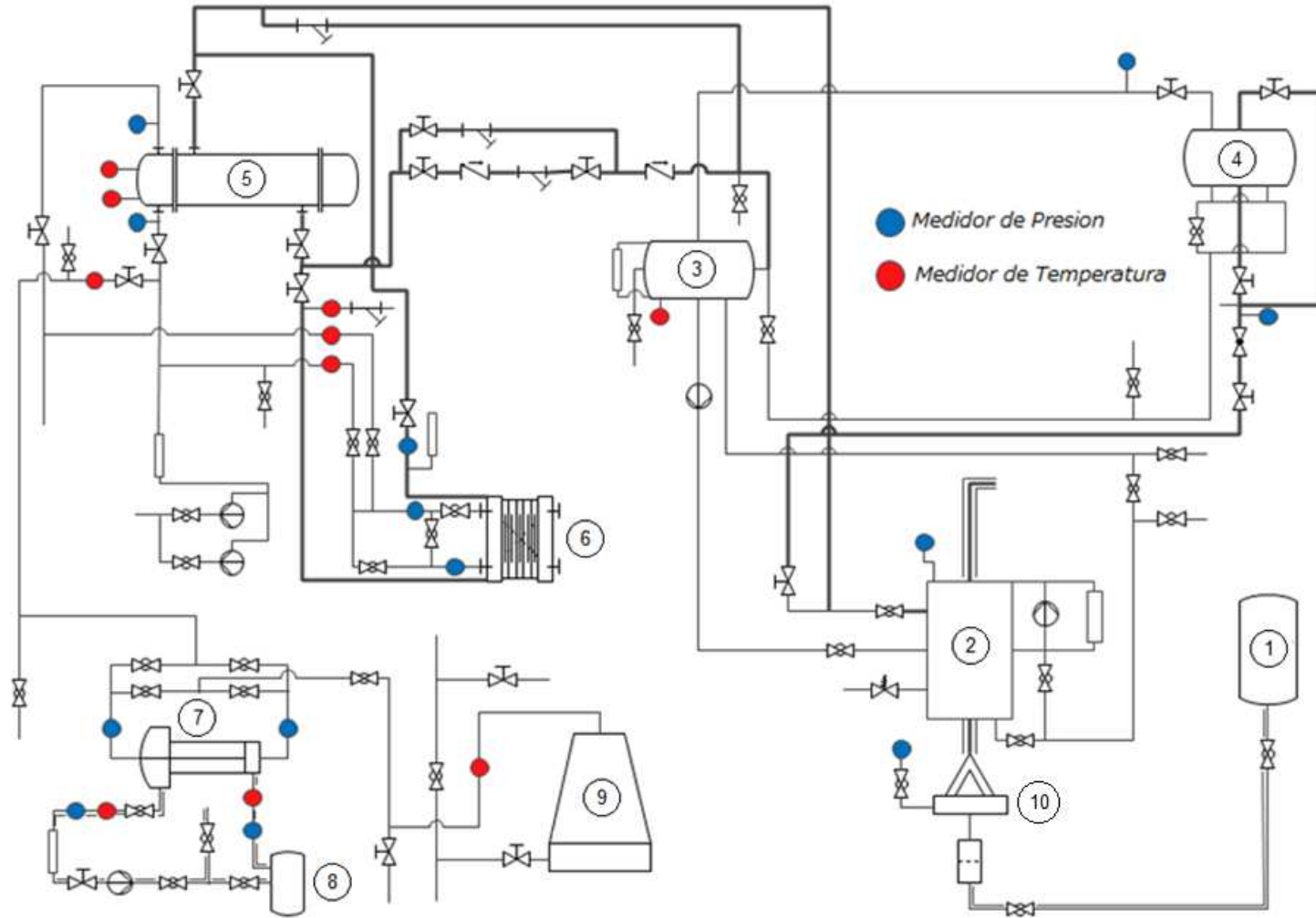
Para generar el diseño para el sistema de producción de vapor en primer lugar se debe caracterizar el sistema, esto incluye identificación de partes, realización de planos (si se requieren) y requerimientos de mantenimiento. Una vez el sistema actual se caracterice se procederá a diseñar el sistema según las variables más influyentes para la evaluación de las eficiencias.

#### **3.2 SISTEMA DE LA CALDERA**

Se dio inicio al proyecto realizando un plano del sistema de producción de vapor del laboratorio de transferencia de calor II para tener una visión más detallada de cómo funciona el sistema y como este se involucra con los demás equipos de la instalación con el fin de trazar los límites del sistema que se estudiaran en este proyecto.

**3.2.1 Descripción del sistema.** En el diagrama del proceso (ver Figura 5) se pueden identificar los diferentes elementos del sistema que componen el laboratorio. Teniendo una visión de lo general a lo particular se iniciara con la identificación de los subsistemas que componen el laboratorio. El ACPM sale del tanque de combustible (1) y recorre una tubería hasta llegar al quemador (10) en donde este se incinera y el gas de combustión recorre la caldera (2) de abajo hacia arriba efectuando una transferencia de calor a través de los tubos convirtiendo el agua que ingresa a la caldera por la tubería de suministro

Figura 5. Diagrama del proceso laboratorio de transferencia de calor II.



principal en vapor. El vapor que se genera sube y se separa del agua en la parte superior de la caldera y sale a través del tubo donde está ubicado el manómetro, mientras que el gas de combustión recorre la chimenea y sale a la atmosfera por la tubería de color negro que se encuentra en la parte superior de la caldera. Dicho lo anterior se encuentra el autoclave (4) el cual es una de las dos derivaciones que tiene la línea de vapor de la caldera y se encarga de esterilizar equipo médico y de laboratorio. El vapor recorre la segunda derivación hasta llegar a los intercambiadores de calor (5), (6) y (7) con su respectivo tanque de aceite (8), los cuales se encargan de utilizar vapor suministrado por el sistema de producción de vapor para calentar agua fría permitiendo la transferencia de calor en una unidad compacta y por último la torre de enfriamiento (9) y el tanque de condensados (3) los cuales completan el circuito de planta térmica condensando el vapor y devolviéndolo en forma de agua a la caldera. A lo largo de la visual de cada línea de alimentación que compone el sistema ya sea vapor, agua o combustible se observan diferentes elementos como válvulas, filtros, trampas de vapor, entre otros. También se pueden observar los transductores de temperatura enmarcados en un círculo rojo y los transductores de presión enmarcados en el diagrama con un círculo azul. Cabe recordar que solo el grupo caldera (2) y quemador (10) con su respectivo tanque de combustible (1) y el tanque de condensados (3) serán objeto de estudio de este proyecto y no los demás elementos.

La caldera es piro tubular de 5 BHP y actualmente el quemador utiliza ACPM. A continuación se enlistan los elementos que hacen parte del sistema de control de la caldera y el quemador: Relé de protección sistema quemador, controlador de presión Honeywell, bomba y controlador de nivel McDonnell 150s y Válvula de seguridad VRSG.

Figura 6. Caldera piro tubular de funcionamiento automático.



El quemador es de tiro forzado para ACPM, tiene una capacidad de 2 a 3 GPH, motor de 1/7 de caballo y 3450 RPM. El fabricante realiza una serie de recomendaciones a la hora de ser instalado (ver Anexo C) Esta máquina no permite su uso con gasolina ni sus derivados y fue aprobado para manejar Fuel oil N° 2. El quemador cuenta con un relé de protección (ver Anexo B) el cual utiliza una fotocelda de sulfuro de cadmio el cual es un material semiconductor y su conductividad aumenta al ser iluminado con gran intensidad. Por esta razón se utiliza como foto resistor. La fotocelda detecta la llama dentro de la cámara del quemador y en caso de no presentarse o presentarse de manera intermitente este activa un relé para detener el eje del motor y cortar el suministro de ACPM a la cámara.

Figura 7. Quemador FC Bantam series 134/234.



El controlador de presión (ver Anexo A) es un instrumento que provee control operacional y protección automática para sistemas con presiones de hasta 300 psi. Debe ser utilizado con vapor, aire, gases no combustibles o fluidos no corrosivos. Puede operar entre un rango de temperaturas de - 37°C a 66 °C y posee un rango de presión de trabajo de 5 a 150 psi.

La Bomba y el controlador de nivel (ver Anexo D) es un instrumento que corta la energía del quemador o de la bomba de acuerdo a la demanda de vapor o el nivel del agua. Algunas aplicaciones típicas de este instrumento incluyen el corte de combustible por bajo nivel de agua en calderas de vapor, controlador de bomba ya sea primario o secundario, entre otras. Tiene un motor de 1/3 de caballo y una presión máxima de trabajo de 150 psi.

Figura 8. Bomba y controlador de nivel McDonnell 150s



La válvula de seguridad (ver Anexo E) cuyas características son: diseño especial para apertura instantánea y caída inmediata con sello hermético tamaño  $\frac{3}{4}$  por 1 pulgada. Material del cuerpo bronce SAE 40, conector de bronce forjado, resorte en acero inoxidable AISI 302, sello en caucho especial para vapor hasta 260 °C, disco en acero inoxidable AISI 304, presión de apertura 120 psi y presión de cierre 115 psi, descarga de vapor saturado 0,087 Kg/s (687 lb/h), distancia de apertura del tapón 2,5 mm y boquilla 10 mm<sup>68</sup>.

La caldera automática de vapor que se encuentra en el laboratorio fue construida en el año 1993 por la empresa Teknik Ltda. Tiene una capacidad de 5 BHP, produce vapor saturado a un flujo de 170 lb/hr, consume medio galón de combustible por hora y pesa media tonelada.

---

<sup>68</sup> Arroyo, E. Gutiérrez, D. Gutiérrez, O. Marqués, F. Muñoz, L. Ochoa, J. Plantas Térmicas. Planta piloto II Universidad de America. Junio de 1996.

**Tabla 4.** Ficha técnica caldera piro tubular de funcionamiento automático.

<b>Tipo</b>	Piro tubular vertical de funcionamiento automático
<b>Capacidad</b>	49.019 Kw (5 BHP)
<b>Presión de trabajo máxima</b>	0-861,844 kPa (0-125 PSI)
<b>Producción máxima de vapor</b>	0,0214 kg/s (170 Lb/h) a temperatura de saturación
<b>Sistema de combustión</b>	Quemador de tiro forzado para ACPM

Fuente: Díaz, A. Oñate, M. Director Bonilla, L. Diseño, construcción y montaje de un intercambiador de calor de placas para los laboratorios generales de la Universidad de América. Consultado el 13 de marzo del 2017.

Los manómetros utilizados son del tipo bourdon C y sus características de acuerdo a los equipos en que son empleados son las siguientes: En la caldera escala 0–1379 KPa (0-200 psi y 0-13 Bar) con diámetro de caratula 95.8 mm (3 ¾”) y exactitud 13.8 KPa (2 psi). En los intercambiadores escala 0-1379 KPa con diámetro de caratula 76.2 mm (3”) y exactitud de 34.5 KPa (5 psi), en la entrada de agua escala 0-413.7 KPa (0-60 psi) con diámetro de caratula 63.5 mm (2 ½”) y exactitud de 13.8 KPa (2 psi)<sup>69</sup>.

Los termómetros utilizados en el tanque de alimentación a la caldera escala 0-110 °C 7 0-220 °F con diámetro de caratula 50.8 mm (2”) y exactitud de +/- 1.2 °C (2 °F). En los intercambiadores a la entrada de vapor escala 0-300 °C con tamaño de caratula 88.7 mm (3 ½”) y exactitud de +/- 10 °C<sup>70</sup>.

La red de interconexión tanque de alimentación y la caldera: El diámetro nominal de esta tubería es de 19.05 mm (¾”). Diámetro interior de 21 mm, espesor de 2,87 mm cédula 40 y el material es de acero. Los accesorios de esta tubería son: a la salida de la caldera una válvula de compuerta y una válvula anti retorno, a la entrada el intercambiador un termómetro y una válvula de globo, en el trayecto final de la red un bolsillo de vapor junto con una trampa termodinámica que interconecta a su vez a la entrada de la tubería de recolección de condensados<sup>71</sup>.

La red de interconexión entre el agua del acueducto y el tanque de alimentación: el diámetro nominal de esta tubería es de 12.7 mm (½”), diámetro interior 15.8 mm, espesor 2.77 mm, cedula 40 y material hierro galvanizado. Esta red cuenta con una válvula de flotador<sup>72</sup>.

En cuanto a los requerimientos de mantenimiento para el correcto funcionamiento del sistema de producción de vapor se efectuó el mantenimiento por parte de la empresa fabricante con fecha de marzo 15 al 16 del 2017 realizando las

<sup>69</sup> Ibid., p.17

<sup>70</sup> Ibid., p.18

<sup>71</sup> Ibid., p.19

<sup>72</sup> Ibid., p.20



operaciones respectivas. A continuación se enlistan las actividades realizadas por el personal de mantenimiento de la empresa.

- ✓ Deshollinado y lavado interno.
- ✓ Armado.
- ✓ Pintura general.
- ✓ Lavado interno bomba y control de nivel McDonnell 150s.
- ✓ Lavado interno tanque de condensados.
- ✓ Cambio de flotador.
- ✓ Prueba hidrostática a 100 psi – no se presentaron fugas.
- ✓ Arranque de la caldera y pruebas de funcionamiento satisfactorias.
- ✓ Mantenimiento general al quemador – no se presentó ninguna falla.

Se incluye además la guía de operación de la caldera como se muestra a continuación:

Guía de operación caldera piro tubular vertical de funcionamiento automático.

- ✓ Verificar nivel de agua de la caldera, si está bajo activar la bomba de agua hasta que llegue a su nivel y si esta alto abrir el registro de descarga hasta que llegue al nivel demarcado.
- ✓ Verificar que el tanque de combustible tenga ACPM sino tiene abrir las válvulas de paso del mismo.
- ✓ Encender la fuente regulada de 110 VAC a 24 VDC.
- ✓ Pulsar interruptor de rodillo hacia arriba, el cual está ubicado al lado izquierdo del tablero de mandos, al accionarlo se enciende una luz amarilla en el tablero que nos indica que los controles tienen tensión eléctrica.
- ✓ Accionar interruptor de muletilla de la bomba hacia la función automático, cuando esto ocurre se enciende una luz verde.
- ✓ Accionar interruptor de muletilla del quemador había la función automática, cuando esto ocurre se enciende una luz roja y se escucha el arranque del motor del quemador, además en la mirilla de la caldera se puede observar la llama.
- ✓ Cuando la caldera llegue a la presión graduada, abrir el registro del vapor que se encuentra en la pared superior trasera de la misma.

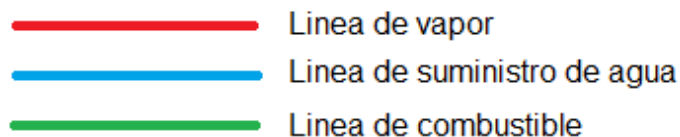
## 4. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA LA EVALUACION DE BIOCOMBUSTIBLES EN LA CALDERA

### 4.1 PARAMETROS DE DISEÑO

Después de caracterizar el sistema de producción de vapor se procede a limitar el diagrama que por medio de una serie de cuantificación de variables nos permitirá determinar las eficiencias tanto de la caldera como el quemador y así poder establecer las variables más influyentes (ver Figura 10) desarrollando los respectivos balances de masa y energía para el quemador y la caldera.

La limitación del diagrama de acuerdo a las variables propuestas se realizara con ayuda de instrumentos como manómetros, termopares, analizadores de gas de combustión, medidores de flujo y medidores de nivel encontrados en el diagrama los cuales nos ayudaran a determinar las variables necesarias para completar los balances de masa y energía tanto para el quemador como la caldera. En la figura 9 se pueden observar las 3 líneas principales que serán objeto de estudio en este proyecto.

Figura 9. Suministro según tipo de fluido.

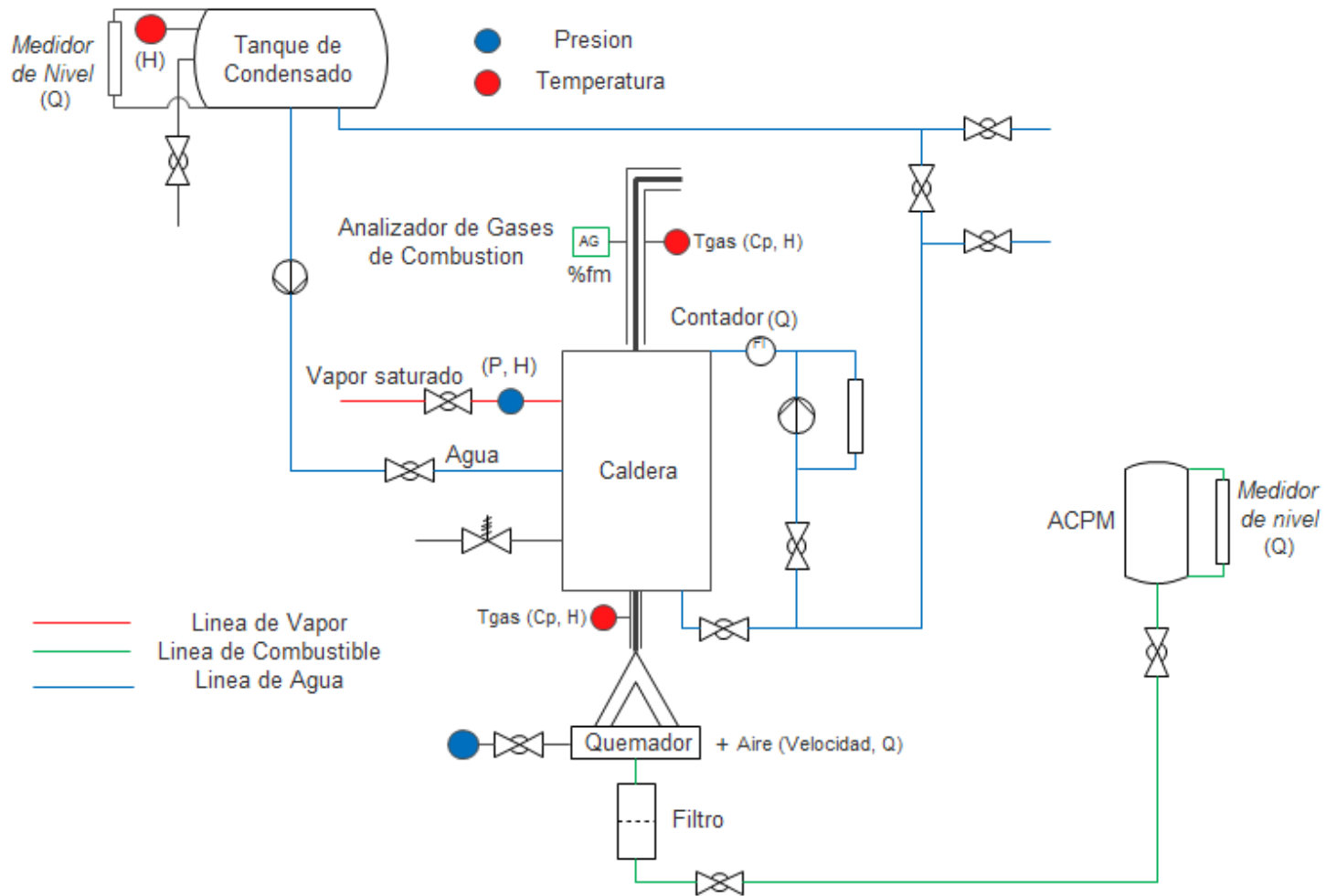


Con los termopares ubicados entre el quemador y la caldera y a la salida de la chimenea (ver figura 10) se pretende conocer la temperatura del gas de combustión lo cual nos permitirá conocer el calor específico de cada gas que compone la mezcla y a partir de esta variable determinar la entalpia del gas. El analizador de gas de combustión permitirá conocer la fracción de masa de cada gas en la mezcla, esto es importante porque cada gas tiene propiedades diferentes y esto afecta la entalpia.

Los medidores de nivel tanto del tanque de condensados como del de combustible (ver figura 10) permitirán verificar la columna del fluido dentro del tanque y así determinar el caudal de agua que ingresa a la caldera y del combustible que ingresa al quemador. El tanque de condensados tiene actualmente instalado un transductor de temperatura el cual nos permitirá conocer la entalpia del agua según su temperatura utilizando las respectivas tablas termodinámicas.

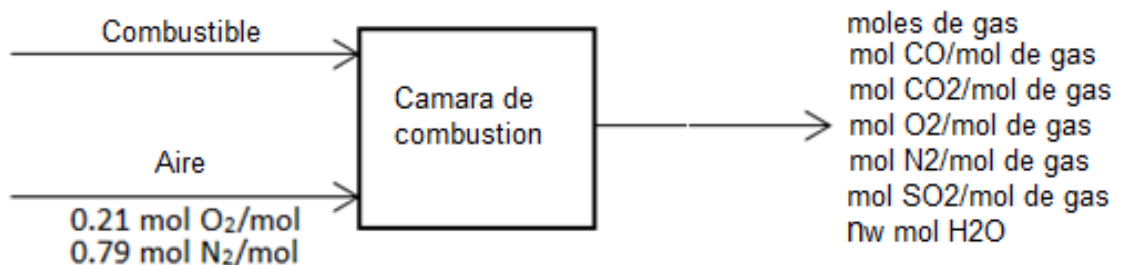
La línea de vapor (ver figura 10) posee actualmente un manómetro el cual nos permitirá conocer la presión del vapor de agua al salir de la caldera y utilizando las respectivas tablas termodinámicas conocer su entalpia y de esta manera completar el respectivo balance de masa y energía para la caldera.

Figura 10. Simplificación diagrama de proceso.



**4.1.1 Balances de masa y energía.** Para realizar el balance de masa y energía en el quemador, en la figura 5, se muestran dos reactivos y un producto los cuales son el combustible, el aire que entra por el ventilador de tiro forzado del quemador y un producto que es el gas de combustión. En el balance se involucra el poder calorífico del combustible el cual indica la cantidad de calor liberado por el combustible cuando se quema<sup>73</sup> y la entalpía de reacción del mismo la cual indica el cambio en la energía química del combustible durante la reacción<sup>74</sup>. Estos dos términos sumados da la energía total del combustible para efectuar el balance. La cantidad de aire que ingresa al quemador nos permitirá determinar si la reacción de combustión de la cámara es completa o incompleta y en qué medida.

Figura 11. Balance de masa y energía quemador de tiro forzado.



El uso del analizador de gases de combustion permite determinar la composicion en porcentaje de cada uno de los compuestos del gas que posteriormente será utilizado para determinar tanto el calor especifico como su entalpía. Teniendo como base estas variables se determinan como influyentes para el balance de masa y energía en el quemador la velocidad y temperatura del aire, composicion y temperatura del gas de combustion, densidad del combustible y la diferencia de longitud en el medidor de nivel del tanque de combustible.

La ecuación de balance de energía para el quemador se definió de la siguiente manera según los reactivos y productos involucrados.

$$\dot{m}_{com}P_{Ccom} + \dot{m}_{com}H_{com} + \dot{m}_{aire}H_{aire} = \dot{m}_{gas}H_{gas} + Q_p \quad (1)$$

<sup>73</sup> Cengel, Y. A., & Boles, M. A. Termodinámica. 7 ed. Agencia Reforma, 2013. p.784

<sup>74</sup> Ibid., p. 783

Dónde:

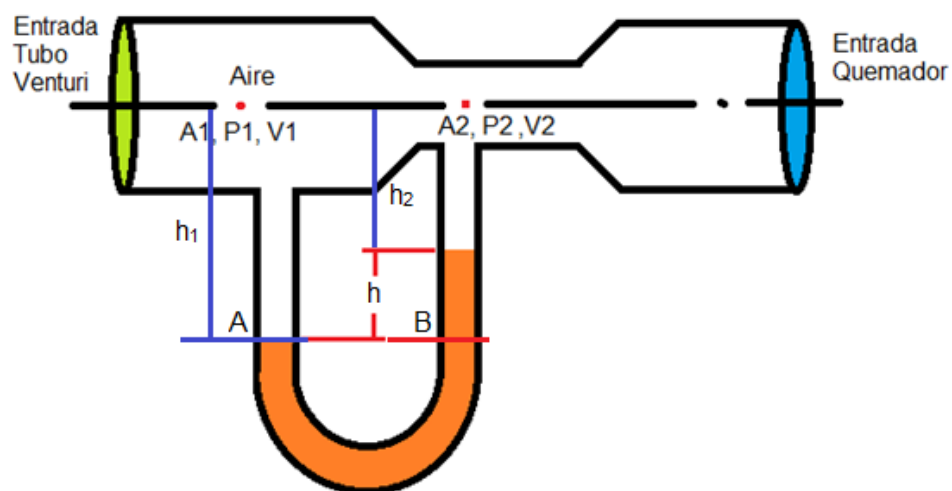
- ✓  $\dot{m}_{com}$  : flujo másico del combustible
- ✓  $PC_{com}$  : Poder calorífico del combustible
- ✓  $H_{com}$  : Entalpia de reacción del combustible
- ✓  $\dot{m}_{aire}$  : flujo másico del aire
- ✓  $H_{aire}$  : Entalpia del aire
- ✓  $\dot{m}_{gas}$  : flujo másico del gas de combustión
- ✓  $H_{gas}$  : Entalpia del gas de combustión

La entalpia de reacción también llamada entalpia de combustión para reacciones de combustión se puede calcular con la composición del combustible o quemándolo de manera directa en una bomba calorimétrica y así conocer su valor<sup>75</sup>. Para la eficiencia del quemador se conoce que es una relación entre el calor en pérdidas y la energía de entrada, este valor se le resta a 1 y se multiplica por 100 para obtener su valor en porcentaje.

$$n_q = 1 - \frac{Q_p}{Q_E} \times 100 \quad (2)$$

Actualmente el quemador no cuenta con un instrumento para medir el caudal de aire que entra al ventilador para determinar cuánto aire está consumiendo la unidad y poder efectuar la reacción de combustión. Se propone usar un tubo de Venturi para medir la velocidad de entrada del aire al quemador. El instrumento propuesto se muestra en la figura 12.

Figura 12. Propuesta caudal quemador.



<sup>75</sup> Ibid., p.785

La diferencia de alturas será calculada a partir de la diferencia de las presiones y las densidades conocidas de ambos fluidos, tanto el que cruza la tubería como el que se encuentra en el tubo de pitot. En este caso, el aire cruza la tubería y el fluido del tubo es mercurio.

$$h = \frac{P_1 - P_2}{g (\rho_{Hg} - \rho_{Aire})} \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que la ecuación fundamental de la hidrostática nos dice que la presión es una función que depende de una variable y no de dos, en este caso la altura (h), la presión en un punto determinado del tubo de pitot será igual al otro extremo a la misma altura. Teniendo que la presión del punto a debe ser igual a la presión del punto b y aplicando la ecuación fundamental de la hidrostática se tiene que:

$$P_1 + \rho_{aire}gh_1 = P_2 + \rho_{aire}gh_2 + \rho_{Hg}gh$$

$$P_1 - P_2 = \rho_{aire}g(h_2 - h_1) + \rho_{Hg}gh$$

De esta manera despejando el diferencial de presión en función de las densidades de ambos fluidos y teniendo que cuenta que  $h_2 - h_1 = -h$  se tiene que:

$$P_1 - P_2 = -\rho_{aire}gh + \rho_{Hg}gh$$

$$P_1 - P_2 = hg(\rho_{Hg} - \rho_{aire})$$

De esta última ecuación se despeja h y se obtiene la ecuación número 3 mencionada anteriormente. Volviendo al principio de estas ecuaciones y analizando la figura 12, tomando los puntos 1 y 2 y aplicando la ecuación de Bernoulli se tiene que la diferencia de presiones entre ambos puntos está en función de la presión dinámica, ya que los puntos 1 y 2 se encuentran a una misma altura y utilizándolos como nuestro plano de referencia la presión estática sería igual a 0, según lo anterior:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) \quad (4)$$

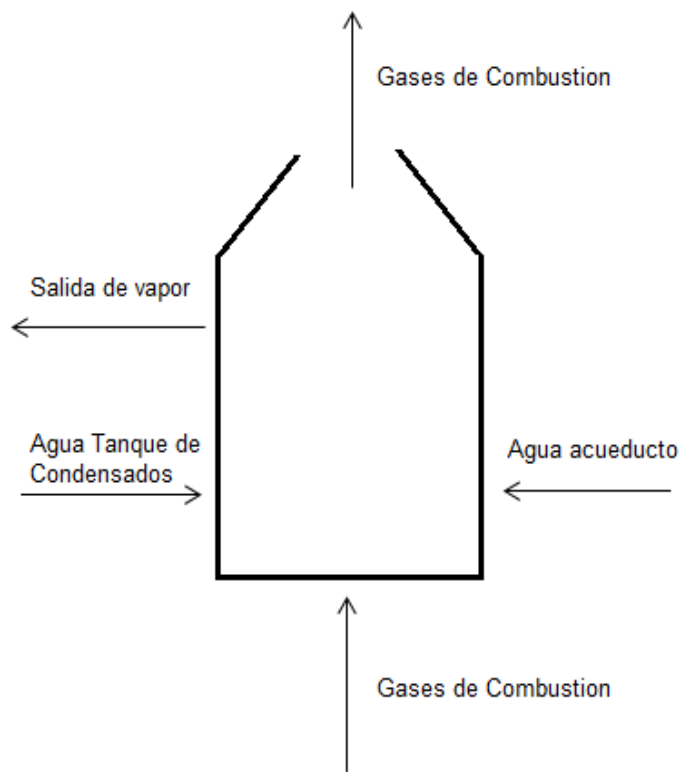
La velocidad del fluido en ambas secciones del tubo a partir de la altura generada en el tubo de pitot y teniendo en cuenta que el caudal tiene que ser el mismo en ambos puntos se utiliza la ecuación de continuidad

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (5)$$

Conociendo la velocidad del fluido a partir de la ecuación de continuidad conoceremos el caudal de aire que ingresa al quemador multiplicando la velocidad ( $V_1$ ) por su respectiva área ( $A_1$ ) de sección.

El balance de masa y energía desarrollado en la caldera se explica mediante la figura 13. Teniendo en cuenta que en este caso deseamos conocer las pérdidas globales de calor así como la eficiencia para este conjunto.

Figura 13. Balance de masa y energía caldera.



La ecuación de balance de energía para la caldera se definió de la siguiente manera según los reactivos y productos involucrados.

$$\dot{m}_1 H_1 + \dot{m}_2 H_2 + \dot{m}_3 H_3 = \dot{m}_4 H_4 + \dot{m}_5 H_5 + Q_p \quad (6)$$

Dónde:

- ✓  $\dot{m}_1$ : flujo másico del gas de combustión a la entrada.
- ✓  $\dot{m}_2$ : flujo másico del agua de la red de acueducto.
- ✓  $\dot{m}_3$ : flujo másico del agua del tanque de condensados.
- ✓  $\dot{m}_4$ : flujo másico del vapor a la salida.
- ✓  $\dot{m}_5$ : flujo másico del gas de combustión a la salida.
- ✓  $H_1$ : Entalpía del gas de combustión a la entrada.
- ✓  $H_2$ : Entalpía del agua de la red de acueducto.
- ✓  $H_3$ : Entalpía del agua del tanque de condensados.
- ✓  $H_4$ : Entalpía del vapor a la salida.
- ✓  $H_5$ : Entalpía del gas de combustión a la salida.
- ✓  $Q_p$ : Pérdidas de calor.

Teniendo en cuenta que la masa del gas de combustión no cambia y solo efectúa una transferencia de calor se considera  $m_1 = m_5 = m$ , lo cual permite obtener el calor en pérdidas del sistema despejando la ecuación 6 de la siguiente forma:

$$Q_p = \dot{m}(H_1 - H_5) + \dot{m}_2 H_2 + \dot{m}_3 H_3 - \dot{m}_4 H_4 \quad (7)$$

Puesto que para un gas ideal  $u$  y  $h$  dependen únicamente de la temperatura, los calores específicos  $c_v$  y  $c_p$  dependen también, a lo sumo, sólo de la temperatura. Por lo tanto, a una temperatura dada,  $u$ ,  $h$ ,  $c_v$  y  $c_p$  de un gas ideal tienen valores fijos sin importar el volumen específico o la presión. Así, para gases ideales, las derivadas parciales se pueden reemplazar por derivadas ordinarias. El cambio de energía interna o la entalpía para un gas ideal durante un proceso que pasa del estado 1 al 2 se determina integrando estas ecuaciones<sup>76</sup>. La entalpía del gas de combustión será obtenida de acuerdo a la temperatura del gas como se muestra en la ecuación 8. Donde el estado uno será nuestra temperatura ambiente y el estado dos la temperatura de salida del gas.

$$H_{gas} = \sum_{i=1}^n \int_1^2 C_p dT \quad (8)$$

---

<sup>76</sup>Ibid., p.181



**4.1.2 Definición de parámetros de eficiencias y desempeño.** Se pueden obtener las pérdidas globales en la caldera por medio de la ecuación 7 y determinar la eficiencia de la misma por medio de la ecuación 2, la cual aplica también para este caso. Teniendo esto en cuenta se determinan como variables influyentes en el desarrollo de los balances de energía y masa para la cuantificación de la eficiencia y pérdidas de calor en el sistema: Temperatura del agua tanto del tanque de condensados como de la red de acueducto, diferencial de altura del medidor de nivel del tanque de condensados, tanque de combustible y tubo de pitot, presión de vapor saturado y composición y temperatura del gas de combustión.

En la figura 14 se muestran las variables determinadas como influyentes en el desarrollo de los balances de masa y energía tanto para el quemador como para la caldera. Se muestra la variable principal que se cuantificara e inmediatamente se muestran las variables que se pueden obtener a partir de la cuantificación de la variable principal.

Figura 14. Variables influyentes para el desarrollo de los balances de masa y energía.

Temperatura  Entalpia del agua Calor especifico del gas de combustion Densidad del aire	Presion  Entalpia de vapor saturado
Composicion gas de combustion  Fraccion de masa por compuesto del gas. Entalpia del gas a traves del Cp de cada compuesto del gas.	Diferencial de altura fluido tubo de pitot  Caudal del aire al quemador.
Poder calorifico  Cantidad de calor liberado cuando un combustible se quema por completo.	Entalpia de combustion  Cantidad de calor liberado durante el proceso de combustion.

Este grupo de variables mencionado anteriormente permite determinar las demás variables necesarias para completar los balances. Para el quemador tanto el poder calorífico como la entalpia se utilizan para cuantificar la energía del combustible, esto también depende del tipo de combustible o mezclas que se estén utilizando. A partir del caudal del aire calculado con el diferencial de altura en el tubo de pitot

podemos calcular el flujo de masa que entra al quemador para completar la reacción de combustión.

Para la caldera la temperatura es una variable importante porque permite determinar las entalpías del agua, ya que es agua saturada, estos datos encontrados en las tablas termodinámicas dependen de la temperatura. Los Cp de cada compuesto del gas dependen de una función de temperatura con varias constantes y a partir de este dato se puede determinar también su entalpia.

La presión permite determinar la entalpia de vapor saturado, este dato puede ser encontrado también mediante las tablas termodinámicas de vapor saturado las cuales utilizan la presión de vapor para determinar otro conjunto de variables como la entalpia. Debido a que el gas de combustión es una mezcla de varios gases, la entalpia de la mezcla no solo depende del Cp que a su vez depende de la temperatura, sino también de la composición. Es por esto que se determinó como influyente la composición del gas la cual nos permite conocer la fracción de masa por compuesto del gas y con esto realizar la respectiva sumatoria de cada compuesto para conocer rápidamente la entalpia de la mezcla.

## **4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS**

Teniendo la caracterización del sistema y al tener determinadas las variables más influyentes del proceso según el desarrollo de los respectivos balances de masa y energía para la cuantificación de pérdidas de calor y eficiencia tanto en el quemador como en la caldera se procederá a explicar cada una de las opciones en cuanto a equipos se refiere de acuerdo a una serie de cotizaciones realizadas entre los cuales se encuentran los siguientes: Analizador de gases de combustión, termopares, medidores de caudal y una propuesta de diseño para el medidor de nivel del tanque de combustible.

El analizador de gases de combustión se caracteriza en base a los gases que se pueden medir además de su composición como lo son el oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, entre otros. Los cuales fueron determinados como influyentes anteriormente.

A continuación se mostraran tablas de cada una de las opciones donde se muestran los parámetros como el tipo de gas, eficiencia, temperatura del gas de combustión, temperatura del aire, entre otros. Encontramos también el tipo de sensor, su rango de medida, resolución y precisión. En la tabla 4 podemos ver la información detallada del analizador de gas de combustión E6000 y en la tabla 5 información detallada del analizador de gas de combustión IBRID-MX.

Opción 1: E6000 E-Instruments. Costo: 6.400 USD

Figura 15. Parámetros operacionales analizador de gas de combustión E6000.

Parameter	Sensor	Range	Resolution	Accuracy
O <sub>2</sub>	Electrochemical	0 - 25 %	0.1 %	±0.2 % vol
CO H <sub>2</sub> Compensated w/ Built-In NO <sub>x</sub> Filter	Electrochemical	0 - 8000 ppm	1 ppm	±8 ppm (0 - 200ppm) ±5 % rdg (201 - 2000ppm) ±10 % rdg (2001 - 8000ppm)
CO DILUTED	Electrochemical	0.8% - 10.00%	0.01%	±10% rdg
CO <sub>2</sub>	Calculated	0 - 99.9%	0.1 %	
NO	Electrochemical	0 - 5000 ppm	1 ppm	±5 ppm (0 - 100 ppm) ±5% rdg (101 - 5000ppm)
NO <sub>2</sub>	Electrochemical	0 - 1000 ppm	1 ppm	±5 ppm (0 - 100 ppm) ±5% rdg (101 - 1000ppm)
Low NO and/or Low NO <sub>2</sub>	Electrochemical	0 - 100.0 ppm	0.1 ppm	±1.5 ppm (0.0 - 40.0ppm) ±5% rdg (40.1 - 100.0ppm)
NO <sub>x</sub>	Calculated	0 - 5000 ppm	1 ppm	
SO <sub>2</sub>	Electrochemical	0 - 5000 ppm	1 ppm	±5 ppm (0 - 100ppm) ±5% rdg (101 - 5000ppm)
Low SO <sub>2</sub>	Electrochemical	0 - 100.0 ppm	0.1 ppm	±1.5 ppm (0.0 - 40.0ppm) ±5% rdg (40.1 - 100.0ppm)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (HC)	Pellistor	0 - 5%	0.01%	±5% Full Scale
H <sub>2</sub> S	Electrochemical	0 - 500 ppm	0.1 ppm	±5 ppm (0.0 - 125.0ppm) ±4% rdg (125.1 - 500.0ppm)
Tair	Pt100	-10 to 212 °F -10 to 100 °C	0.1 °F 0.1 °C	±1 °F ±1 °C
Tgas	Tc K	-4 to 2280 °F -20 to 1250 °C	0.1 °F 0.1 °C	±0.5 °C (-20 to 100 °C) ±0.5% rdg (101 to 1250 °C)
Pressure/Draft	Semiconductor	±0 - 80 inH <sub>2</sub> O	0.001 inH <sub>2</sub> O	±1.0% rdg
Excess Air	Calculated	0 - 850%	1 %	
Efficiency	Calculated	0 - 100%	0.1 %	

E-Instruments [En Línea] encontrado en: <http://www.e-inst.com/industrial-gas-analyzers/products-E6000>

Opción 2: Multigas detector IBRID-MX6. Costo: 9'401.000.00 COP

Figura 16. Parámetros operacionales analizador de gas de combustión IBRID-MX6.

<b>RANGOS DE MEDICIÓN</b>		
<b>SENSOR</b>	<b>RANGO</b>	<b>RESOLUCIÓN</b>
<b>PERLA CATALÍTICA</b>		
Gas combustible	0-100% LEL	1%
Metano	0-5% vol	0.01%
<b>ELECTROQUÍMICO</b>		
Amoniaco	0-500 ppm	1
Monóxido de carbono	0-1,500 ppm	1
Monóxido de carbono (rango alto)	0-9,999 ppm	1
Monóxido de carbono (hidrógeno bajo)	0-1,500 ppm	1
Cloro	0-50 ppm	0.1
Dióxido de cloro	0-1 ppm	0.01
Monóxido de carbono/ Sulfuro de hidrógeno (COSH)	H <sub>2</sub> S: 0-500 ppm	0.1
hidrógeno	0-2,000 ppm	1
Cloruro de hidrógeno	0-30 ppm	0.1
Cianuro de hidrógeno	0-30 ppm	0.1
Sulfuro de hidrógeno	0-500 ppm	0.1
Dióxido de nitrógeno	0-1,000 ppm	1
Óxido nítrico	0-150 ppm	0.1
Oxígeno	0-30% vol	0.1%
Fosfano	0-5 ppm	0.01
Fosfano (rango alto)	0-1,000 ppm	1
Dióxido de azufre	0-150 ppm	0.1
<b>INFRARROJO</b>		
Hidrocarburos	0-100% LEL	1%
Metano (% vol)	0-100% vol	1%
Metano (% LEL)	0-100% LEL	1%
Dióxido de carbono	0-5% vol	0.01%
<b>FOTOIONIZACIÓN</b>		
VOC	0-2,000 ppm	0.1

Indsci [En Línea] encontrado en: <http://www.indsci.es/Productos/detectores-multigas/mx6/>

Como podemos ver la diferencia entre los rangos y las resoluciones al medir cada uno de los gases que se requieren son factores determinantes del precio. Aunque en unos pocos tengan rangos iguales como el NO<sub>2</sub> (0-1000 ppm, 1 ppm), en otros compuestos como el SO<sub>2</sub> se tiene una diferencia significativa entre los rangos de medición y la resolución (0-5000ppm, 1 ppm vs 0-150ppm, 0.1ppm).

El medidor de flujo que determinara cuánta agua entra a la caldera por la red de acueducto debe soportar la oxidación que esta produce además de presiones de hasta 150 psi ya que se colocara después de la bomba que supe a la caldera por esa línea.

Opción 1: Medidor de caudal tipo turbina KOBOLD. Costo: 1.148 USD

Tabla 5. Parámetros operacionales medidor de caudal tipo turbina.

Rango de caudal	2 – 40 L/min
Precisión de medición	+/- 1,5% fondo de escala
Rango de viscosidad	Baja
Conexión	G ½ rosca hembra/macho G ¾ rosca macho hembra ¾ NPT rosca macho/macho
Material	PPO/ PEI / Latón / Acero inoxidable
Salida	Pulsos, 0 – 20, 4 – 20 mA
Presión máxima	200 bar; tmax: 80°C (opcional 150 °C)

Kobold [En Línea] encontrado en: <http://www.kobold.com/uploads/Files/drs-es-caudal.pdf>

Opción 2: Contador de agua sensus 120C.

Tabla 6. Parámetros operacionales sensus 120C.

Diámetro nominal	2,5 m³/h			
Rango de temperatura	0,1 °C a 50 °C		30 °C a 90 °C	
Posición instalación	Horizontal <sup>1)</sup>	Vertical <sup>1)</sup>	Horizontal <sup>1)</sup>	Vertical <sup>1)</sup>
Rango de caudal:				
Q <sub>3</sub> /Q <sub>1</sub>	80 <sup>2)</sup>	40	80 <sup>2)</sup>	40
Q <sub>2</sub> /Q <sub>1</sub>	1,6			
Q <sub>1</sub>	0,031 m³/h	0,063 m³/h	0,031 m³/h	0,063 m³/h
Q <sub>2</sub>	0,050 m³/h	0,1 m³/h	0,050 m³/h	0,1 m³/h
Q <sub>3</sub>	2,5 m³/h			
Q <sub>4</sub>	3,125 m³/h			
Clase de precisión	± 2% (Q <sub>2</sub> ≤ Q ≤ Q <sub>4</sub> ) para temperatura del agua ≤ 30 °C ± 3% (Q <sub>2</sub> ≤ Q ≤ Q <sub>4</sub> ) para temperatura del agua > 30 °C ± 5% (Q <sub>1</sub> ≤ Q ≤ Q <sub>2</sub> )			
Rango de presión	0,3 bar (0,03 MPa) a 16 bar (1,6 MPa)			
Clase de pérdida de carga ΔP	0,63			
Clase de entorno	B			
Entorno mecánico	M2			
Entorno climático	5 °C a 70 °C			

Sensus [En Línea] encontrado en: <https://sensus.com/es/products/120c-water-meter/>

Si nos fijamos en el caudal la primera opción maneja de 2 a 40 L/min mientras que la segunda 31 a 50 L/h. Esta es una diferencia significativa en cuanto a la

medición del flujo que viene de la bomba de alimentación. En cuanto a la precisión en la medida la primera opción posee un +/- 1.5% y el segundo instrumento un +/- 2 si es en agua fría y un +/-3 si es en agua caliente. Cabe recordar que el instrumento n°2 considera agua caliente una temperatura entre 30–90 °C. No es mucha la diferencia entre la precisión de ambos instrumentos teniendo en cuenta que el de mayor precisión es digital y la segunda opción es análoga, pero en un proceso a escala industrial donde la precisión cuenta para ahorrar recursos y minimizar la contaminación, la precisión en la medida es de vital importancia.

El material, la presión, el rango de caudal y la precisión en la medición son los factores determinantes para la selección del instrumento, cabe recordar que la bomba opera a 150 psi y estos instrumentos operan a más del doble de la presión de operación.

Los termopares que determinaran la temperatura del gas de combustión a la entrada de la caldera y a la salida por la chimenea deben soportar altas temperaturas entre 100 – 1000 °C, el cual fue el parámetro elegido para la selección del instrumento. Cabe recordar que un termopar de este tipo será ubicado entre el quemador y la caldera y este punto está muy cerca de la llama del quemador.

Termopar tipo K Costo: 145.000.00 COP

#### Datos técnicos

- ✓ Termopar tipo K
- ✓ Norma IEC 584
- ✓ Material acero inoxidable
- ✓ Conexión de ½ NPT Bulbo de ¼
- ✓ Cabezal estándar en aluminio
- ✓ Rango de -25 °C a 1200 °C

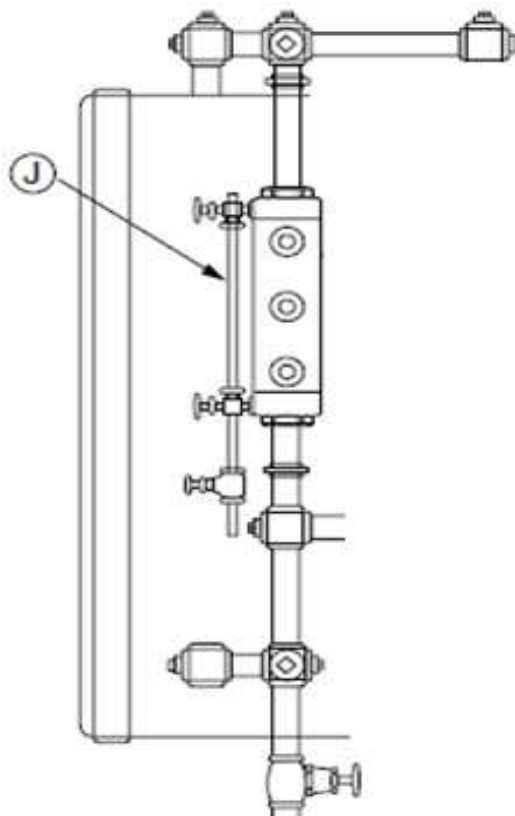
Fuente: Tecno medición S.A ficha técnica termopar tipo K.

Para el medidor de nivel del tanque de combustible se propone una construcción similar a la del tanque de condensados que consta de un tubo de vidrio de diámetro 9.52 mm (3/8”) por 250mm de longitud que esta interconectado en sus extremos por una válvula de aguja la cual permite verificar en la columna de agua el nivel que se mantiene en el equipo<sup>77</sup>. En la Figura 17 se puede observar un ejemplo de este sistema utilizado en la bomba y medidor de nivel en la caldera.

---

<sup>77</sup> Arroyo, E. Gutiérrez, D. Gutiérrez, O. Marqués, F. Muñoz, L. Ochoa, J. Plantas Térmicas. Planta piloto II Universidad de America. Junio de 1996.

Figura 17. Medidor de nivel bomba y Medidor de nivel McDonnell 150s.



#### 4.3 BASE DE CÁLCULO – MICROSOFT EXCEL

Se desarrolló una base de cálculo con la cual se pretende simular el proceso de experimentación y toma de datos con el objetivo de justificar las variables determinadas como influyentes y demostrar porque fueron seleccionadas y su consecuencia en el desarrollo de los respectivos balances de masa y energía para la cuantificación de pérdidas globales de calor y eficiencias en el sistema.

La base de cálculo se divide en dos hojas, la primera es la experimentación en el quemador y la segunda la experimentación en la caldera. La base trae como ayuda adicional tabla de vapor saturado, tabla de agua saturada, tabla de combustibles, tabla de valor de  $C_p$  para cada compuesto del gas de combustión y la tabla de combustibles en caso de que el combustible empleado en el sistema se encuentre en la lista. En los siguientes apartados se explica más en detalle el funcionamiento de la base de cálculo.

**4.3.1 Sistema quemador.** Para el quemador se consideró la ecuación 1 como base, las casillas en color rojo es la variable que se medirá con su respectiva unidad. Adicionalmente se deben completar algunos datos propios del sistema y el tipo de combustible para que se complete el cálculo en la hoja de Excel.

En la hoja “Quemador” seguir los siguientes pasos para completar el cálculo:

1. Seleccionar en la casilla B21 el tipo de combustible según la tabla de la hoja “CEcom”.
2. Colocar en la casilla F21 el diámetro del tanque de combustible en la unidad indicada.
3. Calcular la entalpia de combustión mediante las entalpias de reacción y colocarla en la casilla F22 según corresponda el combustible.
4. Colocar en la casilla F23 la entalpia de combustión según el combustible seleccionado y su reacción de combustión.
5. En las casillas J21 y J22 respectivamente colocar las áreas correspondientes al tubo de Venturi para medir el caudal de aire que ingresa al quemador.
6. En las casillas J24 y J25 respectivamente colocar la densidad del aire y del fluido del tubo de pitot “FTP”.
7. A partir de la casilla B5 poner el diferencial de altura del tanque según el medidor de nivel del mismo.
8. A partir de la casilla G5 colocar la altura que se marca entre los dos niveles del fluido en el tubo de pitot.
9. A partir de la casilla N5 utilizar tablas termodinámicas y colocar el valor de entalpia del aire según corresponda.
10. Completar la tabla realizando mediciones cada 5 minutos hasta completar las 12 indicadas.

**4.3.2 Sistema caldera.** Para la caldera se tomó como base la ecuación 6. Los campos marcados con rojo y su respectiva unidad son aquellos que el experimentador debe llenar. Para completar este balance se utilizaran adicionalmente la hoja de cálculo HAS la cual corresponde a la entalpia del agua saturada, HVS que corresponde a la entalpia de vapor saturado, CEcom correspondiente a la información técnica del combustible, TC donde se encuentra el cálculo de volumen para el tanque de condensados y la hoja FCp donde se encuentran los valores de las constantes de la función de cp para los diferentes compuestos del gas de combustión, esta última permitirá concretar los cálculos de entalpia y cp para cada compuesto.



En la hoja "Caldera" seguir los siguientes pasos para concretar el cálculo:

1. Escribir el valor de temperatura a partir de la casilla B6 a B17 para la entrada y B22 a B33 para la salida.
2. Poner el delta del desplazamiento de volumen en el tanque de condensados a partir de la casilla B37 a B48.
3. Utilizar la hoja de cálculo "TC" para calcular el volumen en función de los límites superior e inferior anotados a la hora de realizar la medición en el medidor del tanque de condensados.
4. El valor de entalpia se escribe manualmente. Para esto, introduzca el valor de temperatura del termómetro del tanque en la hoja HAS celda A5 y anote el valor de entalpia de agua saturada en la columna correspondiente a la hoja de cálculo "Caldera" reportado en la celda H5 que se encuentra en color rojo en la hoja de cálculo "HAS".
5. Escribir el valor de caudal ingresado a la caldera por la red principal a partir de la celda H37.
6. Utilizar temperatura ambiente para el cálculo de las entalpías y apoyarse en la hoja de cálculo "HAS" ingresando el valor de temperatura en la celda A10 y anotar el valor de entalpia de agua saturada en la columna correspondiente a la hoja de cálculo "Caldera" reportado en la celda H10 que se encuentra en color rojo en la hoja de cálculo "HAS".
7. Colocar el valor de presión en la unidad correspondiente a KPa a partir de la celda M37.
8. Para calcular el valor de entalpia de vapor saturado apoyarse en la hoja de cálculo "HVS" e ingresar el valor de presión en la celda A5 y anotar el valor de entalpia en la columna correspondiente a la hoja de cálculo "Caldera" reportado en la celda J5 que se encuentra en color rojo en la hoja de cálculo "HVS".

A continuación se muestran algunas imágenes de la interfaz configurada en las hojas de cálculo. La información contenida en las hojas de cálculo fue obtenida del libro de termodinámica 7ma edición de cengel y transcritas para ayudar al estudiante en la labor de las interpolaciones requeridas cuando el resultado no se pueda encontrar de manera directa. No todos los combustibles fueron transcritos, Cabe recordar que el quemador fue aprobado para usar fuel oil N°2 y no permite su uso con gasolina ni ninguno de sus derivados como lo explica su respectiva ficha técnica.

Figura 18. Hoja de cálculo Quemador.

EXPERIMENTACION DATOS Y RESULTADOS QUEMADOR														
COMBUSTIBLE						SUMINISTRO DE AIRE								
Tiempo	ΔL Tanque	masa	Ereacc	Ecom	Etotal	Altura (h)	ΔP	ΔV	V1	V2	Caudal	masa	Haire	Eaire
Min	m	Kg	KJ	KJ	KJ	m	pa	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	m/s	m/s	m <sup>3</sup> /s	Kg	KJ/Kg	KJ
5	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
10	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
15	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
25	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
30	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
35	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
45	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
50	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
55	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
60	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Combustible		Tanque de combustible		Tubo de venturi		Perdidas de calor			
Nº	5	N/A	Díametro		A1	m2	Qp	#DIV/0!	KJ
Combustible	Etanol	N/A	Entalpia de combustion		A2	m2	Eficiencia del Quemador		
Masa molar	46,059	Kg/Kmol	Hcom	KJ/mol	Densidad		n	#DIV/0!	%
Densidad	0,79	Kg/L			Aire	Kg/m3			
Cp	2,44	KJ/Kg*K			FTP	Kg/m3			
HHV	29670	KJ/Kg							
LHV	26810	KJ/Kg							

Figura 19. Hoja de cálculo Caldera.

GAS DE COMBUSTION SALIDA DE LA CALDERA																
Temp	O2	H2O		N2		CO2		CO		SO2		NO		Sumatoria		
Temp	Q2	H	H2	N2	CO2	CO	SO2	NO								
°C	%/100	KJ/Kmol*K	KJ/Kmol	%/100	KJ/Kmol*K	KJ/Kmol	%/100	KJ/Kmol*K	KJ/Kmol	%/100	KJ/Kmol*K	KJ/Kmol	%/100	KJ/Kmol*K	KJ/Kmol	
5	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
10	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
15	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
20	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
25	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
30	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
35	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
40	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
45	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
50	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
55	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00
60	25,48	-458,64	32,24	-580,32	28,90	-520,20	22,26	-400,68	28,16	-506,88	25,78	-464,04	29,34	-528,12	0	0,00

Tanque de condensados		Red de acueducto				Salida de vapor				Perdidas globales de calor				
ΔL Tanque	Temp	Volumen	Masa	Entalpia	Energia	Masa	Entalpia	Energia	Masa	Entalpia	Energia	Qp	#DIV/0!	KJ
m	°C	m <sup>3</sup>	Kg	KJ/Kg	KJ	m <sup>3</sup>	°C	Kg	KJ/Kg	KJ	Kg	KJ/Kg	KJ	
5	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
10	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
15	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
20	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
25	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
30	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
35	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
40	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
45	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
50	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
55	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			
60	0,023	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0			

Figura 20. Hoja de cálculo HAS.

Agua del tanque de condensados									
T °C	Psat KPa	Vf	Vg	Uf	Ufg	Ug	hf	hfg	hg
20	2,3392	0,001002	57,762	83,913	2318,4	2402,3	83,915	2453,5	2537,4
25	3,1698	0,001003	43,34	104,83	2304,3	2409,1	104,83	2441,7	2546,5
23,00	2,83756	0,0010026	49,1088	96,4632	2309,94	2406,38	96,464	2446,42	2542,86

Agua red de acueducto									
T °C	Psat KPa	Vf	Vg	Uf	Ufg	Ug	hf	hfg	hg
15	1,7057	0,001001	77,885	62,98	2332,5	2395,5	62,982	2465,4	2528,3
20	2,3392	0,001002	57,762	83,913	2318,4	2402,3	83,915	2453,5	2537,4
15,00	1,7057	0,001001	77,885	62,98	2332,5	2395,5	62,982	2465,4	2528,3

Figura 21. Hoja de cálculo HVS.

Salida de vapor saturado									
KPa	Tsat °C	Vf	Vg	Uf	Ufg	Ug	hf	hfg	hg
500	151,83	0,001093	0,37483	639,54	1921,2	2560,7	640,09	2108	2748,1
550	155,46	0,001097	0,34261	655,16	1908,8	2563,9	655,77	2096,6	2752,4
500,00	151,83	0,001093	0,37483	639,54	1921,2	2560,7	640,09	2108	2748,1

Figura 22. Hoja de cálculo CEcom.

Combustible							
N°	Combustible	Masa Molar	Densidad	H de Vap.	Cp	HHV	LHV
5	Etanol	46,059	0,79	172	2,44	29670	26810
N°	Fase (L)	Masa Molar	Densidad	H de Vap.	Cp	HHV	LHV
	Combustible	Kg/kmol	Kg/L	KJ/Kg	KJ/Kg°K	KJ/Kg	KJ/Kg
1	Benceno	78,114	0,877	433	1,72	41800	40100
2	Butano	58,123	0,579	362	2,42	49150	45370
3	Diesel ligero	170	0,81	270	2,2	46100	43200
4	Diesel pesado	200	0,85	232	1,9	45500	42800
5	Etanol	46,059	0,79	172	2,44	29670	26810
6	Gasolina	100 - 110	0,75	350	2,4	47300	44000
7	Hexano	84,161	0,673	392	1,84	47500	44400
8	Isopentano	72,15	0,626	n/a	2,32	48570	44910
9	Metanol	32,042	0,79	1168	2,53	22660	19920
10	Octano	114,231	0,703	363	2,23	47890	44430
11	Propano	44,097	0,5	335	2,77	50330	46340

Ejemplo de cálculo de eficiencias utilizando la hoja de cálculo.

- Temperatura del tanque de condensados: 20 °C
- Diferencial de altura tanque de combustible: 23 – 24 (cm)
- Diferencial de altura tanque de condensados: 0,3 – 0,22 (m)
- Diferencial de altura tubo de pitot: 0,13 (m)
- Temperatura Ambiente: 16 °C
- Presión de vapor: 500 KPa
- Temperatura de entrada del gas de combustión: 600 °C
- Temperatura de salida del gas de combustión: 150 °C
- Tipo de combustible: Butano
- Entalpia de combustión (Calculada previamente): -2875,6 KJ/mol.
- Área de entrada del tubo de venturi: 40 cm<sup>2</sup>
- Área de estrechamiento del tubo de venturi: 10 cm<sup>2</sup>
- Temperatura gas de combustión a la entrada: 600 °C
- Temperatura del gas de combustión a la salida: 150 °C

Teniendo estos datos en cuenta se procede a colocar los datos en cada una de las casillas correspondientes según la guía de usuario para el manejo de la hoja de Excel. Debido a que solo es una medición y para simplificar el ejercicio se utilizara

una imagen de la versión simplificada de la tabla mostrada en las figuras anteriores. Cabe recordar que la siguiente imagen posee los mismos campos con los mismos nombres y variables establecidas en la guía y este apartado.

Figura 23. Desarrollo ejemplo quemador.

Combustible			Aire		
N°	2	N/A	Altura	0,13	m
Combustible	Butano	N/A	$\Delta P$	17324,8394	pa
Masa molar	58,123	Kg/Kmol	$\Delta V$	28285,452	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Densidad	0,579	Kg/L	V1	43,4246105	m/s
Cp	2,42	KJ/Kg°K	V2	173,698442	m/s
HHV	49150	KJ/Kg	Caudal	0,17369844	m <sup>3</sup> /s
LHV	45370	KJ/Kg	Masa	766,01013	Kg/h
Tanque de combustible			Entalpia	290,16	KJ/Kg
Díametro	0,3	m	Energia	222265,499	KJ
Entalpia de combustion			Tubo de venturi		
Hcom	2875,6	KJ/mol	A1	4,00E-03	m <sup>2</sup>
Calculo combustible			A2	1,00E-03	m <sup>2</sup>
$\Delta L$ Tanque	0,1	m	Densidad		
Masa	4,092709829	Kg	Aire	1,225	Kg/m <sup>3</sup>
Ec	185686,245	KJ	FTP	13600	Kg/m <sup>3</sup>
Er	202484,3244	KJ	Qp Quemador		
Et	388170,5693	KJ	Qp	75133,1027	KJ
			%n Quemador		
			n	80,6443073	%

Para el combustible (ver figura 23) se utiliza el diámetro del tanque y el delta de desplazamiento para obtener el volumen, de este se obtiene la masa con ayuda de la densidad. Utilizando los valores de área conocidos del tubo de Venturi, la densidad de ambos fluidos que para este ejemplo es mercurio y el diferencial de altura dentro del tubo, se procede a hallar el diferencial de presión, las velocidades y con esta ultima el caudal multiplicado con su respectiva área.

Se calculó el Cp y la entalpia de cada compuesto del gas (ver figura 24) realizando una sumatoria y dividiendo el resultado por el peso molecular. La masa del gas de combustión no cambia como se explicó anteriormente así que la entalpia del gas solo depende de la temperatura y la concentración de cada compuesto.

Se calculó el volumen del tanque utilizando la hoja "TC" y haciendo la resta de los dos límites se obtiene el diferencial de volumen en m<sup>3</sup>. La masa se obtuvo multiplicando el volumen por la densidad y la entalpia utilizando la hoja de cálculo "HAS". Para el agua de la "tubería" o red principal, se obtuvo la masa a partir del caudal suministrado en m<sup>3</sup> por el ejercicio y su entalpia también fue calculada con ayuda de la hoja de cálculo "HAS" a través del valor de temperatura.

Figura 24. Desarrollo ejemplo caldera.

Gas de combustion Entrada					Gas de combustion Salida				
	Masa	770,1028396	Kg/hr			Masa	770,1028396	Kg/hr	
	Temp	600,00	°C			Temp	150,00	°C	
	Entalpia	695,1058201	KJ/Kg			Entalpia	144,6825401	KJ/Kg	
Compuesto	Cp (KJ/Kmol*K)	H (KJ/Kmol)	fm %	PM g	Compuesto	Cp (KJ/Kmol*K)	H (KJ/Kmol)	fm %	PM g
O <sub>2</sub>	32,307592	18803,01854	0,134	16	O <sub>2</sub>	27,6034405	3643,654146	0,134	16
H <sub>2</sub> O	36,41528	21193,69296	0,06	18	H <sub>2</sub> O	32,75369188	4323,487328	0,06	18
N <sub>2</sub>	30,245992	17603,16734	0,766	28	N <sub>2</sub>	28,83647613	3806,414849	0,766	28
CO <sub>2</sub>	47,155704	27444,61973	0,04	44	CO <sub>2</sub>	30,46898288	4021,90574	0,04	44
CO	30,618968	17820,23938	0	28	CO	28,52462075	3765,249939	0	28
SO <sub>2</sub>	48,686992	28335,82934	0	64	SO <sub>2</sub>	33,6438655	4440,990246	0	64
NO	31,380828	18263,6419	0	30	NO	29,40425138	3881,361182	0	30
Total	31,56879216	18373,03704	1	26,432	Total	28,97158257	3824,248899	1	26,432
Tanque			Tuberia			Salida			
ΔL Tanq	0,08	m	ΔQ	0,052	m3	Presion	500	Kpa	
Temp	20	°C	Temp	16	°C				
volumen	0,023	m3							
Masa	23	Kg	Masa	52	Kg	Masa	75	Kg	
Entalpia	83,915	KJ/Kg	Entalpia	67,1686	KJ/Kg	Entalpia	2748,1	KJ/Kg	
Energia	1930,045	KJ	Energia	3492,7672	KJ	Energia	206107,5	KJ	
Qp Caldera			%n Caldera						
Qp	223197,8432	KJ	n	58,3043888	%				

Con la presión del gas y ayuda de la hoja de cálculo “HVS” se obtuvo la entalpia del vapor saturado. Las pérdidas del ejercicio fueron calculadas conforme las ecuaciones definidas anteriormente al principio de este capítulo. Al final del cálculo se obtiene una eficiencia de la caldera del 58%, esto puede deberse a que está siendo subutilizada operando a la mitad de su capacidad.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización del laboratorio de transferencia de calor II como primer objetivo fue un paso importante en el desarrollo de este proyecto, permitió identificar los equipos que existen actualmente y también por medio de diferentes proyectos de grado desarrollados anteriormente, se cuenta ahora con la información necesaria de accesorios, redes y tuberías que interconectan cada uno de estos equipos. A través de esta caracterización se desarrollaron planos los cuales fueron la base no solo para el diseño del sistema propuesto sino también para el desarrollo de los respectivos balances. Para este primer objetivo también se concretaron los requisitos de mantenimiento los cuales fueron realizados en el mes de marzo por una de las empresas fabricantes y donde se comprobó que el equipo se encuentra en una sólida condición para operar normalmente.
- ✓ Al realizar los respectivos balances de masa y energía tanto para el quemador como la caldera podemos ver que se depende de algunas variables para su desarrollo como lo son: temperatura, presión de vapor, composición del gas, poder calorífico del combustible y diferentes diferenciales de altura encontrados en los medidores de nivel de algunos equipos del laboratorio como los tanques de almacenamiento. Teniendo en cuenta este conjunto de variables y definiéndolas como influyentes en el desarrollo de los balances de masa y energía, nos permitirán cuantificar las pérdidas globales de calor y eficiencias en estos equipos. Se definieron como influyentes porque son las variables primarias del proceso y de las cuales se desprende otro grupo de variables que dependen de ellas para completar los cálculos.
- ✓ Anteriormente se utilizó un analizador orsat para la medición de las concentraciones y temperatura del gas de combustión, mediante este trabajo se propone utilizar un equipo digital y compacto que pueda medir estas variables. El tanque de combustible que se encuentra hoy por hoy en el laboratorio no corresponde al diseño original. El diseño original era un recipiente transparente con un medidor de nivel calibrado en litros al igual que el del tanque de condensados y es por esta razón que se propone la involución al diseño original ya que el diseño que se encuentra actualmente en el laboratorio es un tanque de color oscuro, opaco y no cuenta con la instalación de algún instrumento que permita medir la cantidad de combustible utilizado por la caldera. En el proyecto se presentaron algunas cotizaciones de equipos disponibles en el mercado que pueden llevar a cabo este tipo de funciones y concretar las variables necesarias para realizar los cálculos de los balances de masa y energía de los respectivos equipos y de esta manera cuantificar las respectivas pérdidas globales de calor y eficiencias.

## 6. RECOMENDACIONES

- ✓ Profundizar en el desarrollo de la idea de comprar sensores por aparte para cada compuesto del gas al igual que el desarrollo del respectivo software y los instrumentos necesarios para tomar la muestra.
- ✓ Los equipos digitales poseen una alta precisión y un amplio rango, una ventaja que se ve disminuida de cierta manera en los equipos análogos. Se recomienda utilizar los equipos digitales de alta precisión pero si llegado determinado momento por alguna razón no se puede optar por este tipo de instrumentos, la opción análoga no es del todo equivocada.
- ✓ Se propone utilizar termocuplas para realizar la medición de la temperatura del gas de combustión ya que el punto de conexión entre el quemador y la caldera posee una temperatura muy alta. Explorar si el equipo que analiza el gas también puede encargarse de esta variable y así reducir el coste.

## BIBLIOGRAFIA

ARROYO, Edwin., GUTIÉRREZ, Diego. G., GUTIÉRREZ, Oscar. H., MARQUÉS, Ferney. L., MUÑOZ, Leonardo., & OCHOA, Juan. Carlos. Plantas Térmicas. Planta piloto II Universidad de America. Junio de 1996.

ASHRAE. ASHRAE handbook Fundamentals. Inch-Pound Edition ed. Atlanta, Ga: ASHRAE, 2009. ISBN 1615831703

ASHRAE. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2008.

ASME. ASME PTC 4.1 1964: Steam Generating Units. United States of America: 1999.

CENGEL, Yunus. Ali., & BOLES, Michael. Alston. Termodinámica. 7ª ed. Agencia Reforma, 2013.

CIPEC, Canadá. Boiler and heater operational control. [en línea] disponible en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6693>

CIPEC. Canadá, Boilers and Heaters: Improving Energy Efficiency. [En línea] encontrado en: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6689>

CIPEC. Canadá, Fundamentals of combustión and heat losses. [En línea] encontrado en <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6691>

DÍAZ, A. OÑATE, M. Director BONILLA, L. Diseño, construcción y montaje de un intercambiador de calor de placas para los laboratorios generales de la Universidad de América.

Durag, process & systems technology. Video and temperature monitoring with furnace cámara. [En línea] encontrado en: [https://www.sintrol.fi/images/Esite\\_Video\\_and\\_Temperature\\_Monitoring\\_with\\_Furnace\\_Camera.pdf](https://www.sintrol.fi/images/Esite_Video_and_Temperature_Monitoring_with_Furnace_Camera.pdf)

Flir, How does an IR camera Works. [En línea] encontrado en: <http://www.flir.com/Corporate/display/?id=41523>

GE Power & Water: Water & Process Technologies. [En línea] encontrado en: [https://www.gewater.com/handbook/boiler\\_water\\_systems/ch\\_13\\_blowdowncontrol.jsp](https://www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/ch_13_blowdowncontrol.jsp)



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 33p. c.

\_\_\_\_\_. Documentacion. Presentacion de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 23p.

Microwave, moisture measurement. [En línea] encontrado en: [http://www.rgi-ms.com/html/moisture\\_principles.html](http://www.rgi-ms.com/html/moisture_principles.html)

MULLIGER, Peter., & JENKINS, Barrie. Industrial and process furnaces, Principles, design and operation. United Kingdom: Elsevier Ltd., 2008.

OLAND, C. B. Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection. United States: US Department of Energy (US), 2002.

Robert Bosch GmbH. Bosch lambda sensor. [En línea] encontrado en: <http://www.bosch-lambdasonde.de/en/umweltzuliebe.htm>

ROSALER, Robert. C. Standard Handbook of Plant Engineering. 3rd ed. United States: McGraw Hill, 2004.

SKVARIL, Jan, et al. Fast Determination of Fuel Properties in Solid Biofuel Mixtures by Near Infrared Spectroscopy. En: ENERGY PROCEDIA. Vol. 105, p. 1309-1317

Thoughtco. Spectroscopy introduction. [En línea] encontrado en: <https://www.Thoughtco.com/introduction-to-spectroscopy-603741>

THUMANN, Albert., & MEHTA, D. Paul. Handbook of Energy Engineering. 6th ed. Atlanta: Taylor & Francis Group, 2009.

TURNER, Wayne. C., & DOTY, Steve. Energy Management Handbook. 6th ed. United States: The Fairmont Press, Inc., 2007.

Ultrasonic technology. [En línea] encontrado en: <https://www.microsonic.de/en/support/ultrasonic-technology/principle.htm>

WOODRUFF, Everett. B., LAMMERS, Herbert. B., & LAMMERS, Thomas. F.  
STEAM PLANT OPERATION. 8th ed. United States: McGraw-Hill Professional,  
2004.

## **ANEXOS**

## ANEXO A. CONTROLADOR DE PRESIÓN HONEYWELL L404 - L604.

# Honeywell

### L404 AND L604 PRESSURETROL CONTROLLERS

L404 AND L604 PRESSURETROL CONTROLLERS ARE LINE VOLTAGE PRESSURE CONTROLLERS THAT PROVIDE OPERATING CONTROL, AUTOMATIC LIMIT PROTECTION, OR MANUAL RESET LIMIT PROTECTION FOR PRESSURE SYSTEMS OF UP TO 300 psi [21.1 kg/cm<sup>2</sup> or 2066 kPa].

<input type="checkbox"/> L404A	<input type="checkbox"/> L404D	<input type="checkbox"/> L604A
<input type="checkbox"/> L404B	<input type="checkbox"/> L404F	<input type="checkbox"/> L604L
<input type="checkbox"/> L404C		<input type="checkbox"/> L604M

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

- Stainless steel diaphragm (except the 300 psi [21.1 kg/cm<sup>2</sup> (2066 kPa)] models) also allows use with ammonia, oxygen, distilled water, and similar media.

- Stainless steel diaphragm (except the L404L and 300 psi

[21.1 kg/cm<sup>2</sup> (2068 kPa)] ammonia, oxygen, distilled water, and similar media.

- L404B is recommended for supervision of atomizing medium pressure in oil burner systems.

- Models are available with spst, spdt, or dpst switching and in a variety of operating ranges.

- Dustproof, trouble-free mercury switches (all models except the L404F, which has a snap-acting switch).

- Automatic reset models have an adjustable, subtractive differential (except the L604M).

- Trip-free mechanism on manual reset models ensures that the limit function of the controller cannot be defeated by jamming the reset lever.

- Adjustments are made by screws on top of case.

- Scaleplates are marked in English (psi) and Metric [kg/cm<sup>2</sup>] units.

- L404F models are available with European enclosure, British Standard Pipe Threads, ground screw, and scaleplates marked on kg/cm<sup>2</sup> and either psi or kPa.

- Case has clear plastic cover so that pressure settings and switch action can be observed.

- Leveling indicator visible through cover.

- Hexagonal fitting with 1/4-18 NPT internal threads for direct mounting to a 14026 Steam Trap (siphon loop).

- Can also be surface mounted by screws through holes (knockouts) in back of case.

## SPECIFICATIONS

### STANDARD MODELS

MODELS: L404A-D,F and L604A,L,M Pressuretrol Controllers. See Table I on the next page. A 14026 Steam Trap (siphon loop) is available, except where noted in Table I. The steam trap is necessary for boiler installations.

SWITCH(ES): Mercury switch(es) in all models except the L404F, which has a Micro Switch snap-acting switch.

PRESSURE SENSING ELEMENT: Stainless steel diaphragm (brass bellows in 300 psi [21.1 kg/cm<sup>2</sup>, (2068 kPa)] models).

MAXIMUM AMBIENT TEMPERATURE: 150 F [66 C].

MINIMUM AMBIENT TEMPERATURE: Minus 35 F [minus 37 C]; also refer to note under Location and Mounting in the INSTALLATION section.

ADJUSTMENT MEANS: Screws on top of controller case. Scales are marked in psi and kPa.

ELECTRICAL CONNECTIONS: Internal screw terminals; hole in side of case for 1/2 in. conduit.

MOUNTING MEANS: Hexagonal fitting on diaphragm has 1/4-18 NPT internal threads for mounting on a pipe or steam trap (siphon loop). Also can be surface mounted by screws through 2 holes (knockouts) in back of case.

DIMENSIONS: See Fig. 1; also Fig. 2 for mounting steam trap (siphon loop).

WEIGHT: 2 lb. [0.91 kg].

FINISH: Gray.

APPROVALS:

UNDERWRITERS LABORATORIES INC. LISTED (L404A,B,C,D,F; L604A,M only): File No. MP466, Vol. 10; Guide No. MBPR.  
CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION CERTIFIED (L404A,B,C,D,F; L604A,L only): File No. LR1620; Guide No. 400-E-0.

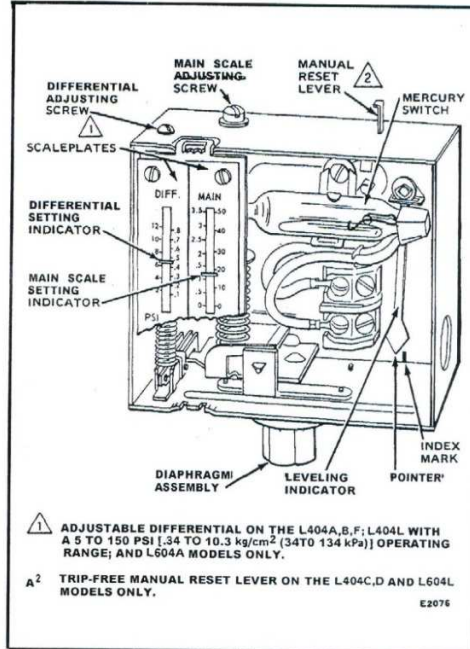


FIG. 1—SETTING A PRESSURETROL CONTROLLER.

TABLE I-MODELS AVAILABLE

MODEL	SWITCHING ACTION ON PRESSURE RISE TO SET POINT	OPERATING RANGES <sup>a</sup>			MIDSCALE SUBTRACTIVE DIFFERENTIAL <sup>a</sup> (adjustable)			MAXIMUM SURGE PRESSURE		
		psi	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	psi	kg/cm <sup>2</sup>	kPa	psi	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
L404A	spst, breaks circuit	2 to 15 <sup>c</sup>	.14 to 1.0	14 to 103	1 to 6	.07 to .41	7 to 41	50	3.5	345
		5 to 50	.35 to 3.5	34 to 345	4 to 12	.28 to .82	27 to 83	85	5.9	586
		10 to 150 <sup>c</sup>	.66 to 10.6	69 to 1034	8 to 16	.56 to 1.10	55 to 110	225	15.5	1551
		20 to 300 <sup>b</sup>	1.4 to 21.0	138 to 2068	15 to 40	1.04 to 2.76	103 to 276	500	34.5	3447
L404B <sup>f</sup>	spst, makes circuit	2 to 15 <sup>d,e</sup>	.14 to 1.1	14 to 103	1 to 6	.07 to .41	7 to 41	50	3.5	345
		5 to 50	.35 to 3.5	24 to 345	4 to 12	.28 to .82	27 to 83	85	5.9	586
		10 to 150 <sup>d,c</sup>	.66 to 10.6	69 to 1034	8 to 16	.56 to 1.10	55 to 110	225	15.5	1551
		20 to 300 <sup>b</sup>	1.4 to 21.0	138 to 2068	15 to 40	1.04 to 2.76	103 to 276	500	34.5	3447
L404C	spst, breaks circuit	2 to 15	.14 to 1.0	14 to 103	manual reset (fixed, subtractive differential)			50	3.5	345
		5 to 50	.35 to 3.5	34 to 345				85	5.9	586
		10 to 150	.66 to 10.6	69 to 1034				225	15.5	1551
		20 to 300 <sup>b</sup>	1.4 to 21.0	138 to 2068				500	34.5	3447
L404D	spst, makes circuit	10 to 150	.66 to 10.6	69 to 1034	(fixed, subtractive differential)			50	3.5	345
								225	15.5	1551
L404F	spdt snap-acting	2 to 15	.14 to 1.0	14 to 103	2 to 6	.14 to .41	14 to 41	50	3.5	345
		5 to 50	.35 to 3.5	34 to 345	4 to 12	.28 to .82	27 to 83	85	5.9	586
	switches R1-R2 R-W, R-B	10 to 150	.66 to 10.6	69 to 1034	10 to 20	.69 to 1.92	60 to 152	225	15.5	1551
		20 to 300 <sup>b</sup>	1.4 to 21.0	138 to 2068	20 to 50	1.4 to 3.5	138 to 345	500	34.5	3447
L604A	circulating spdt, <sup>h</sup> makes R2-B, breaks	5 to 50	.35 to 3.5	34 to 345	4 to 12	.28 to .82	27 to 83	50	3.5	345
		20 to 300 <sup>b</sup>	.66 to 10.6	69 to 1034	15 to 40	1.04 to 2.76	103 to 276	225	15.5	1551
L604L	spdt circuit makes R-W, breaks R-B	2 to 15	.14 to 1.0	14 to 103	manual reset <sup>i</sup> (fixed, subtractive differential)			50	3.5	345
L604M	spdt circuit makes R-W, breaks R-B	10 to 150	.66 to 10.6	69 to 1034	fixed: 3.5 psi [24.1 kPa]			225	15.5	1551

<sup>2</sup>Scaleplates are marked in both psi and kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>b</sup>Brass bellows replaces stainless steel diaphragm. Not suitable for use with ammonia, oxygen, or other corrosive materials.

<sup>c</sup>Model available with special fixed low differential. Switch rated for 0.5 A at 120 Vac.

<sup>d</sup>Model available with minimum operating pressure of 1.25 psi [0.09 kg/cm<sup>2</sup> or 8.62 kPa] and minimum subtractive differential of 0.5 psi [0.035 kg/cm<sup>2</sup> or 3.45 kPa].

<sup>e</sup>Model available with special fixed low differential. Switch rated for 0.5 A at 120 Vac.

<sup>f</sup>Model available with sealed bell crank adjustment.

<sup>g</sup>L404F only; all other models have mercury switches.

<sup>h</sup>Spst switches operate in unison; spdt action when jumper is installed between R1 and R2.

<sup>i</sup>L404C,D and L604L models are designated as "Manual Reset 2" controllers. The trip-free reset mechanism does not permit the controller to function as an automatic-reset device if the manual reset lever is held in the "reset" position. The subtractive differential is fixed at the minimum value of the adjustable differential of the L404A for each corresponding operating range.

<sup>j</sup>Also recommended for supervision of atomizing medium pressure (air or steam) in an oil burner system.

SWITCH CONTACT RATING (in amperes at 50/60 Hz):

MODEL	LOAD	120 Vac	240 Vac	120 Vdc	248 Vdc
L404 <sup>a</sup>	Full Load	8.0	5.1	2.4	1.2
	Locked Rotor	48.0	30.6	24.0	12.0
	Noninductive <sup>a</sup>	10.0	5.0	5.0	2.0
L604A,L <sup>b</sup>	Full Load	8.0	5.1	2.0	1.0
	Locked Rotor	48.0	30.6	20.0	10.0
	Noninductive	10.0	5.0	8.0	4.0
L604M	Full Load	1.0	0.5	1.0	0.5

<sup>a</sup>L404F (snap-acting) does not have noninductive or dc ratings.

<sup>b</sup>L604A and L have also been tested (and listed by Underwriters Laboratories Inc.) and breaking (not making) a load with a total rating of 9.8 A full load, plus 360 VA ignition, plus 250 VA pilot duty at 120 Vac.

TABLE II-CONVERSION TABLE (psi to kPa)

OPERATING RANGE			SUBTRACTIVE DIFFERENTIAL		
SCALE-PLATE psi	EQUIVALENT		SCALE-PLATE psi	EQUIVALENT	
	kg/cm <sup>2</sup>	kPa		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
0 to 15	0 to 1.0	0 to 103	I	—	I —   —
2 to 15	.14 to 1.0	14 to 103	1 to 6	.07 to .4	7 to 41
			2 to 6	.14 to .4	14 to 41
5 to 50	.3 to 3.5	34 to 345	4 to 12	.3 to .8	28 to 83
			5 to 14	.4 to 1.0	41 to 97
5 to 150	.3 to 10.3	34 to 1034	—	—	—
10 to 150	.7 to 10.3	69 to 1034	8 to 16	.6 to 1.1	55 to 110
			10 to 22	.7 to 1.5	69 to 152
20 to 300	1.4 to 20.7	138 to 2068	15 to 40	1.0 to 2.8	103 to 276
			20 to 50	1.4 to 3.5	138 to 345

## ANEXO B. RELÉ DE PROTECCIÓN CONTROL QUEMADOR.



### R8184G PROTECTORELAY\* OIL BURNER CONTROL

#### APPLICATION

This oil primary provides automatic control of oil burner heating systems when used with a C554 Cadmium-Sulfide ("cad") Cell Flame Detector, and an appropriate thermostat.

The Protectorelay\* operates on line voltage power and includes a transformer to supply 24 Volt power for a control circuit; the oil primary operates equally well when cycled from a line voltage controller. It mounts directly to a 4 x 4 junction box or similar burner housing.

This control provides a constant ignition cycle.

#### INSTALLATION

##### JUNCTION BOX MOUNTING

###### CAUTION

1. Installer must be a trained, experienced serviceman.
2. Disconnect power supply before connecting wiring.
3. Be sure combustion chamber is free of oil or vapor before starting system.
4. Conduct thorough checkout when installation is complete.

Mount the junction box in any convenient position on the furnace, or nearby wall. Ambient temperature at this location should not exceed 115°F.

The relay may be temporarily supported by the junction box during wiring by slipping the shear tab on the back of the control over one edge of the junction box. After the wiring is completed, secure the control to the junction box with two mounting screws.

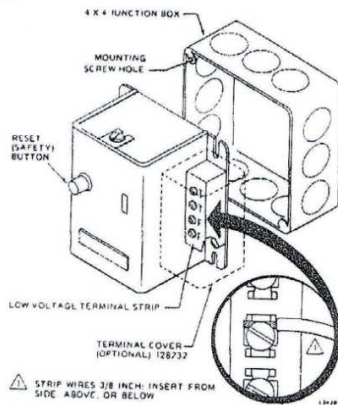


Fig. 1 — Mounting the Protectorelay to junction box.

##### WIRING

**CAUTION:** Disconnect power supply before connecting wiring to prevent electrical shock or equipment damage.

\*Trademark

12/72

All wiring must conform to local codes. Leave enough slack in the wires to permit easy access to wires in the junction box.

**SYSTEM** — With the relay temporarily clipped to an edge of the junction box, connect the three line voltage leads (orange, white and black) to the appropriate system wire leads. Refer to fig. 2 and 3 for proper connections. Use solderless connectors to splice leads. Do not exceed ratings of the control.

##### LOAD RELAY CONTACT RATINGS

		120/110V, 60 HZ	240/220V 60 HZ
30 sec. Safety Switch	Full Load	7.4 amps	3.7 amps
	Locked Rotor	44.4 amps	22.2 amps

PLUS:

IGNITION RATING: 360 va

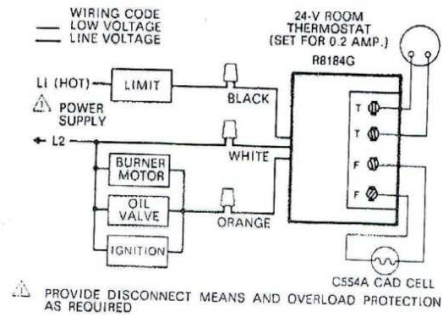


Fig. 2 — Typical hookup for the R8184G using a 24V low voltage controller

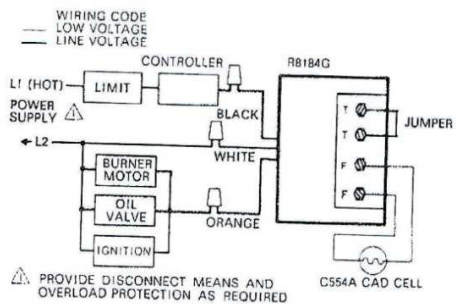


Fig. 3 — Typical hookup for the R8184G using a line voltage controller

"CAD" CELL — Run the yellow leadwires from the "cad" cell (usually installed by the burner manufacturer) to the low voltage terminal strip using one of the following methods, then connect to the F-F terminals.

Printed in U.S.A.

Form Number **95C-100128**

Residential Div.

1. Route the yellow "cad" cell leads into the junction box, thread them through the opening in the base, and connect to the F-F terminals. After making these connections, mount the relay to the junction box,

OR

2. Route the "cad" cell leads directly to the F-F terminals from outside the junction box. Mount the relay to the junction box.

**24V THERMOSTAT/CONTROLLER** — Run wires from the low voltage thermostat or controller directly to the terminal strip and connect to the T-T terminals (fig. 2). Make sure the heat anticipator in the thermostat is set at 0.2 amps.

**LINE VOLTAGE CONTROLLER** — Connect the line voltage controller in series with the black lead of the relay (fig. 3) and INSERT JUMPER ACROSS T-T.

### STARTING PROCEDURE

**CAUTION:** Be sure combustion chamber is free of oil or vapor.

1. Push red reset (safety) button in and release.
2. Open hand valve in oil supply line.
3. Set limit control and thermostat to call for heat.
4. Close line switch, and burner starts.
5. Under normal conditions, burner operates until thermostat is satisfied.

### CHECKOUT

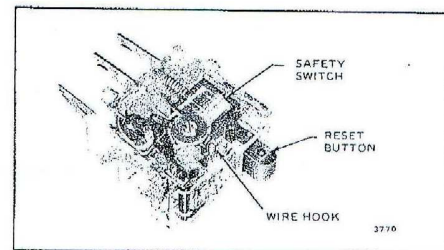
Use the following procedure to verify Protectorelay Controller safety features.

1. Flame failure — shut off oil supply hand valve while burner is firing. Monitor burner operation until flame-out occurs. Approximately 30 seconds after flame-out, depending on model, safety switch locks out, ignition stops, motor stops, and oil valve closes. This condition requires resetting the safety switch.
2. Ignition failure — following the preceding test (oil valve still shut off, fuel supply line to burner empty) wait at least 5 minutes for the safety switch to cool, reset the safety switch, run through the starting procedure and safety switch should lock out as in flame failure test.
3. Power failure — turn off power supply while burner is on. When burner goes out, restore power and burner will restart.
4. If operation is not as described, check wiring and installation first. If trouble still persists, follow the complete procedure for checking out the relay and "cad" cell printed on the cover insert.

**CAUTION: ONLY TRAINED AND EXPERIENCED SERVICEMEN SHOULD ATTEMPT THE CHECK-OUT PROCEDURE GIVEN ON THE INSERT.**

### TO MANUALLY TRIP SAFETY SWITCH

To assure burner shutdown while the system is being serviced, the safety switch may be manually tripped. Push the wire hook towards the transformer until the safety switch reset button pops out. System is locked out. **REMEMBER:** Power supply has not been disconnected. Electric shock is still a possibility. To restart when service is complete, the safety switch must be manually reset (push in).



**NOTE:** If you wish to trip the safety without resorting to the manual trip lever, run through the starting procedure, omitting Step 2. The switch will trip out on safety in approximately 30 seconds, or the timing specified on the case of the particular model involved.

### SERVICE

The R8184 Protectorelay Controls are set at the factory and require no adjustment or periodic maintenance. The contacts on the load relay may be cleaned by spraying with Honeywell Contact Cleaner (no. 132569) if checkout indicates that the relay contacts are not conducting.

### DEFINITIONS — CONSTANT AND INTERMITTENT IGNITION

Honeywell literature describing domestic oil primaries and relays uses terms "constant" and "intermittent" to describe the types of ignition. The way these terms are used is now inconsistent with descriptions appearing in new C.S.A. and U.L. Standards. Honeywell will soon adopt the new C.S.A./U.L. terminology. Meanwhile, the chart below shows the differences presently existing between our literature and approval body Standards.

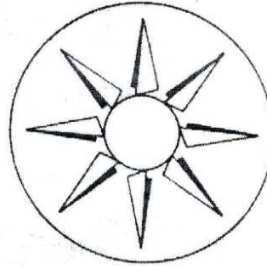
Current Honeywell Terms	C.S.A./U.L. Standards Descriptions	Type of Ignition
constant	intermittent	ignition is on when the burner is on
intermittent	interrupted	ignition goes off when the burner lights.



**ANEXO C.**  
**QUEMADOR FC BANTAM SERIES.**

MANUAL NO. 20100-6-79

**INSTALLATION AND SERVICE INSTRUCTIONS**

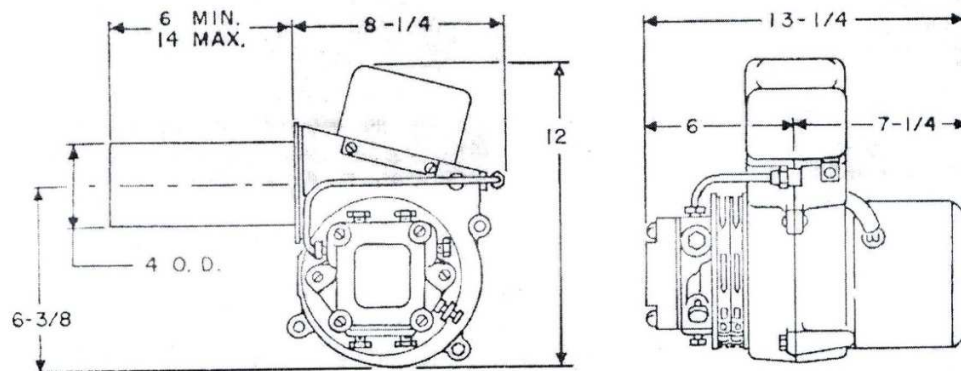


**“FC”**  
**BANTAM SERIES**

APPROVED FOR NO. 2 FUEL OIL SPEC. CS12-48

These flame retention oil burners are listed and approved by Underwriters' Laboratories, Inc. MP1039, New York City Board of Standards and Appeals 748.48 SA, State Fire Marshal of Commonwealth of Massachusetts #988, Department of State Police of Connecticut, CSA of Canada and leading Governmental agencies throughout the world.

In All Communications State Burner Model and Serial Numbers



**ABC/SUNRAY CORPORATION**

45 South Service Road • Plainview, N. Y. 11803 • (516) 293-6800

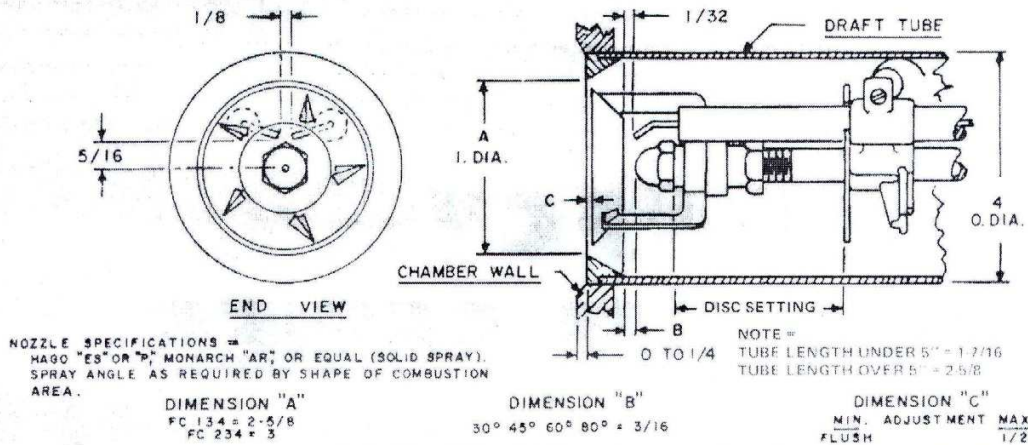
PRICE \$1.00



## "FC" SERIES BURNER SPECIFICATIONS

BURNER MODEL	CAPACITY GPH		MOTOR		FUEL UNIT	
	MIN.	MAX.	HP	RPM	SUNDSTRAND & WEBSTER STANDARD	OPTIONAL
FC-134	0.50	2.00	1/7	3450	ONE STAGE	TWO STAGE
FC-234	1.75	3.00	1/7	3450	ONE STAGE	TWO STAGE

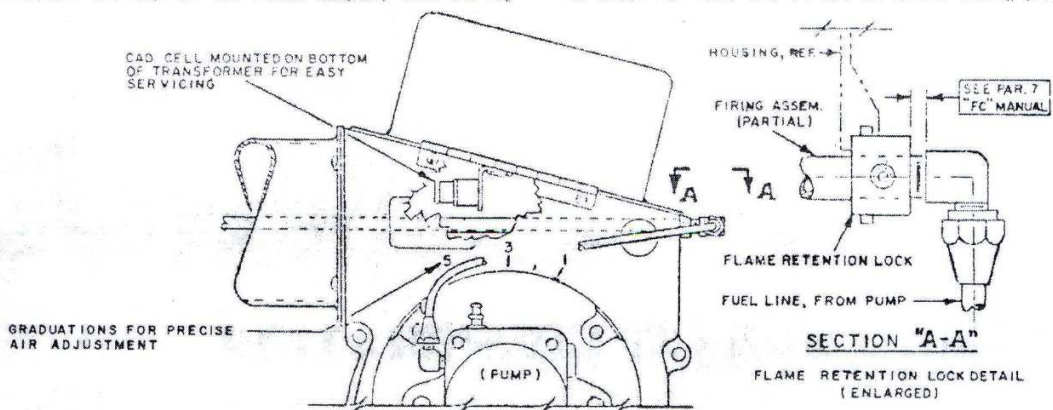
NOTE: SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



\*PART #H40071 SETTING GAUGE AVAILABLE ON REQUEST

1. To install the nozzle, the firing assembly must be removed: Remove copper tubing from elbow connection. Remove lock screw on ignition transformer and open. Lift end of firing assembly slightly and carefully pull out. **NOTE:** Spring pressure will cause some resistance; **DO NOT** force or bend the pipe and/or cup.
2. Loosen clamp screw on cup bracket and remove from nozzle adaptor. Examine cup for distortion. A bent cup will alter the firing characteristics of the burner.
3. Inspect the nozzle adaptor seat for any defects. A loose or improperly seated nozzle will cause an oil leak and poor oil cut off. Use an "Ideal" type nozzle wrench or two wrenches to remove or tighten the nozzle.
4. Reinstall the cup on the nozzle adaptor, with the leg

- having the part number between the electrodes. Slide the cup back against the adaptor shoulder and tighten clamp screw. Check that the cup bracket does not touch the electrode insulator.
5. Set electrodes as shown (5/16" above nozzle centerline, 1/32" from cup and 1/8" gap).
6. Reinstall firing assembly by reversing the procedure in paragraph No. 1.
7. Cup to end cone dimension "C" is set full forward (flush with end cone). Loosen flame retention lock, index the assembly aft for maximum efficiency. **See below.**
8. Tighten all screws and copper tube fittings.
9. Check for leaks and oil cut off before leaving premises.



## INSTALLATION INSTRUCTIONS

### #2 FUEL OIL BURNERS

6. Install an approved hand valve close to burner pump, before the filter, and connect from filter to pump with a copper tube pigtail.
7. Install a copper tube pigtail between pump and spring-loaded ball check in return line.
8. Avoid fastening suction and return lines to floor beams. If necessary to do so, use loose fitting hangers with soft rubber lining to prevent noise transmission.
9. A separate suction line must be used for each burner. A common return line may be used, provided a spring-loaded ball check is installed in the return pipe from each fuel unit.

#### FILTER

1. A filter is recommended in the suction line.
2. Size filter according to g.p.h. of nozzle on single pipe installations.
3. Use large filters on 2-pipe systems (20 to 30 g.h.p. rating).

#### BURNER SETTING

1. Use base or flange mounting, whichever is most practical for the installation. Follow heating unit manufacturer's recommendations where applicable.
2. Level burner across the top.
3. Pitch draft tube down approximately 2° to 4° toward nozzle end.
4. End of draft tube should be 0" (flush) - 1/4" from the inside of chamber wall. Improper insertion will distort fire.
5. Insulate around draft tube to prevent overheating of tube, nozzle and components. Make sure all cement is cleaned from inside of tube, drain hole in air cone and firing head. Pieces of insulation or cement in tube or head will distort the flame.

#### NOZZLES

1. Use nozzle of the proper size, type and spray pattern as indicated for the model. (See inside front cover.)
2. Always remove nozzle assembly to install or replace nozzle.
3. Use an "IDEAL" nozzle wrench or two wrenches to tighten nozzle.
4. Nozzle must be tight to prevent an oil leak and after fire.

#### ADJUSTING NOZZLE ASSEMBLY

1. Set nozzle and electrodes according to specifications (see inside front cover).
2. The electrode points must be set out of the spray, and the spark should contact oil mist.
3. Use flame mirror to check the setting.

#### CHIMNEY

1. Follow the recommendations of the heating unit manufacturer.
2. Chimney should be above the surrounding objects, tile-lined, with no obstructions and be in a good state of repair.
3. The smoke pipe should be set flush with inside of tile, and cemented in place.
4. All cleanout doors should be sealed.

In All Communications State Burner Model and Serial Numbers

## INSTALLATION INSTRUCTIONS

### #2 FUEL OIL BURNERS

#### UNPACKING

When unpacking burner be sure all loose packages are inspected for contents. When burner is equipped with electronic controls, the relay is in a separate box packed with burner. Check packing list, voltage, cycles, and for concealed damage.

#### TANK

1. All oil storage tanks must be U.L. approved and installed according to National Board of Fire Underwriters or local ordinances whichever has precedence.
2. All pipe connections on underground buried tanks must have swing joints except the sounding well (stick well).
3. The fill line must pitch toward tank  $\frac{1}{4}$ " per ft.
4. The vent line should not be less than  $1\frac{1}{4}$ " I.P.S. and equipped with an approved vent cap. Pitch toward tank  $\frac{1}{4}$ " per ft.
5. The tank gauge should be installed so that the float will not be under the fill line. On underground tanks protect bulb and gauge line inside tank with rigid iron pipe.

#### OIL LINES

##### A. 275-Gal. Basement Tanks

1. Use  $\frac{1}{2}$ " O.D. copper tubing with flared fittings. Consult pump manufacturer specifications for other sizes and iron pipe substitution.
2. Install an approved hand valve in the tank outlet and close to burner pump before the filter. Connect from filter to pump with a copper tube pigtail. Do not connect rigid pipe directly to pump.
3. A return line is not required for this type installation.
4. If more than one burner is connected to suction line the tank bottom must be above both burner pumps and the size of line and filter must be increased.

##### B. Underground Or Vaulted Tanks

1. Use  $\frac{1}{2}$ " O.D. copper tubing with flared fittings for suction and return lines to avoid underground connections. If local regulations require rigid pipe, use black wrought iron and malleable fittings with double swing joints to prevent breakage in case the tank settles. (Consult pump manufacturer's specifications for other sizes and iron pipe substitutions.)
2. Both suction and return lines should extend to within 4" of the tank bottom.
3. Slip fittings should be used on the tank for copper suction and return lines. Double-tapped bushings can be used with wrought-iron pipe; however, a bushing welded to the dip tube is preferred.
4. Install, in suction line at outside wall, an approved hand valve and spring loaded ball check. When the tank is vaulted and the bottom of tank is on same level as burner, install a vertical check valve as close to top of tank as practical.
5. If bottom of tank is above the level of the burner, an anti-syphon valve is usually required at the highest point.

In All Communications State Burner Model and Serial Numbers

## INSTALLATION INSTRUCTIONS

### #2 FUEL OIL BURNERS

#### DRAFT REGULATORS

1. The use of a draft regulator is recommended and should preferably be mounted in the smoke pipe.
2. Use draft gauge to adjust to proper opening. See "draft" below.
3. The above does not apply to pressurized fire box boilers.

#### AIR FOR COMBUSTION

1. A separate fresh air inlet to the boiler room is required for proper combustion.
2. An opening of 1½ to 2 times the area of the smoke outlet is necessary.
3. If the opening is screened the area should be increased by as much as 50%.
4. Boiler room must be closed off from any area where exhaust fans are installed.

#### COMBUSTION CHAMBERS

Does not apply to packaged units where the chamber is supplied.

1. Refer to chart for correct chamber dimensions.
2. Chambers may vary slightly but should maintain approximately the same square inches of floor area.

#### WIRING

1. All wiring must comply with the National Electric Code and local ordinances.
2. Refer to diagram supplied with burner or controls.
3. Use 105°C thermoplastic wire — Do not use less than #14 AWG wire.
4. Do not fasten conduit or BX cable to hot surfaces.
5. Photocell wires must be thermoplastic and in separate conduit.

#### STARTING BURNER

1. Be sure boiler and oil tank are filled, all valves open and controls set for operation.
2. Open air adjustment partially, open fire door and turn on switch.
3. Prime pump according to manufacturer's recommendations and check pressure.
4. If safety lockout occurs, reset after 1 to 2 minutes.
5. Do not run fuel unit dry for more than 5 minutes.
6. Prime pump with oil on long suction lines.
7. When fire is established make a temporary air adjustment to clear any smoke. Leave fire door open until combustion chamber is dry. When normal temperatures are reached adjust draft and air shutter for a clean fire.

#### DRAFT

1. After boiler and chamber are up to normal operating temperature set draft to —.02" to —.03" W.C. over the fire. Use a draft gauge.

#### FINAL CHECKOUT

1. Use smoke tester and set burner air adjustment for not more than #2 smoke (Shell Bacharach scale).
2. Recheck draft and take CO<sub>2</sub> readings over fire and in breeching.
3. If a large differential between CO<sub>2</sub> readings is noted, air leakage is the most common cause. Reseal unit.
4. Open fire door, turn off oil valve and check out safety timing of combustion control.
5. Check operation of limit controls and thermostat.
6. Check for oil leaks.

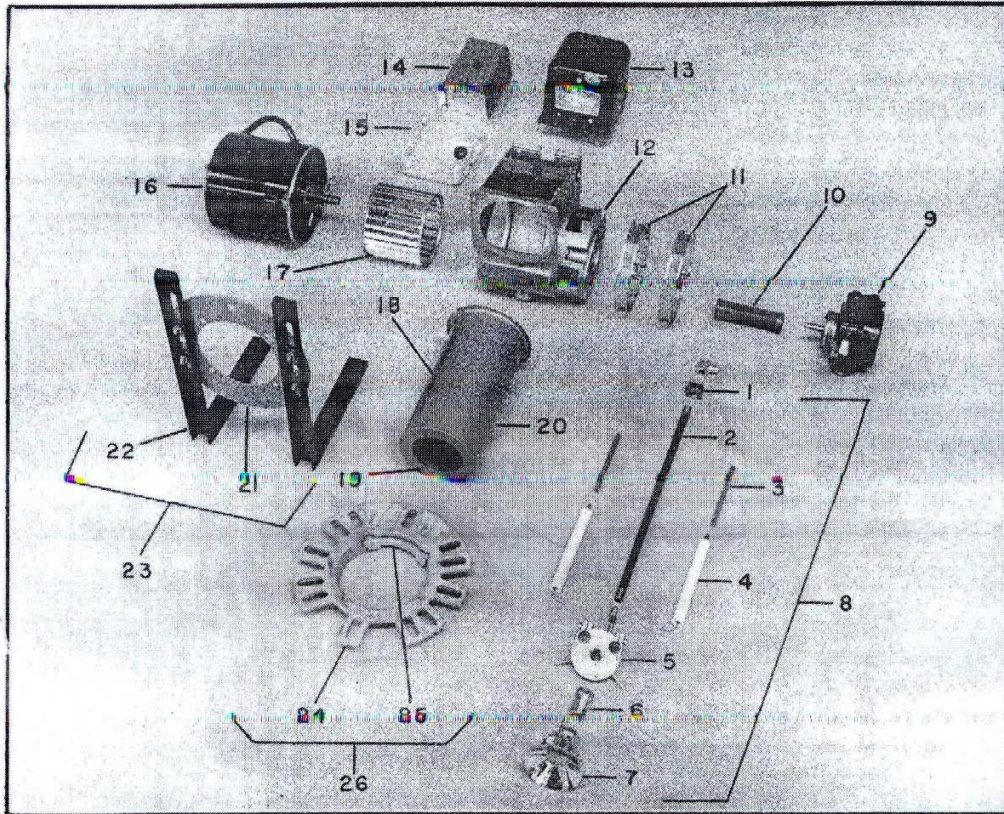
All installations should be reinspected after 1 to 2 weeks of normal operation.

In All Communications State Burner Model and Serial Numbers

# "FC" BANTAM SERIES OIL BURNERS

## BURNER PARTS LIST

Ordering Information: State full Model Number, Serial Number, Part Number, Air Tube Length and Voltage



ITEM NO.	PART NO.	DESCRIPTION	FC-134	FC-234
1	C 41382	FLAME RETENTION LOCK	X	X
2	T 40221	NOZZLE OIL LINE (SPECIFY LENGTH)	X	X
3	E 41461	BUSS BAR (2 REQUIRED, SPECIFY LENGTH)	X	X
4	E 41451	IGNITION ELECTRODE (2 REQUIRED) 5 1/2" LONG x 1/16" DIA.	X	X
	E 41453	IGNITION ELECTRODE (2 REQUIRED) 3 3/4" LONG x 1/16" DIA.	X	X
5	A 42640	STABILIZER ASSEMBLY	X	X
6	S 41850	NOZZLE ADAPTER	X	X
7	A 42361	GOLDEN CUP FLAME RETENTION, 2 3/4" O.D.	X	X
8	A 42641	FIRING ASSEMBLY (ITEMS 1 THRU 7, SPECIFY LENGTH)	X	X
9	P 40381	FUEL UNIT—3450 RPM, 100 PSI, SINGLE STAGE		
	P 40391	FUEL UNIT—3450 RPM, 100 PSI, TWO STAGE	X	X
		(SUNDSTRAND A2VA—WEBSTER M34D) STATE MAKE	X	X
		(WEBSTER 2M34D—SUNDSTRAND B2YA) STATE MAKE	X	X
10	R 40031	COUPLING, 3/4" LONG x 1/2" BORE x 1/16" BORE, NF	X	X
11	S 42211	AIR INLET BAND (2 REQUIRED)	X	X
12	C 41381	BURNER HOUSING	X	X
13	M 40231	TRANSFORMER—120 VOLT, 60 CYCLE TO 10,000 VOLT	X	X
14	E 41281	COMBUSTION CONTROL (HONEYWELL R8164, USED WITH M-H G554 CAD-CELL SENSOR, NOT SHOWN)		
	E 41291	COMBUSTION CONTROL (WHITE ROGERS 688, USED WITH W. R. 958-1 CAD-CELL SENSOR, NOT SHOWN)	X	X
15	S 41552	ELECTRICAL JUNCTION BOX, 4" x 4" x 1 1/2"	X	X
16	M 40181	BURNER MOTOR—1/2 HP, 120 VOLT, 60 CYCLE, 1 PH, 3450 RPM	X	X
17	F 40181	BLOWER WHEEL, 4 1/2" DIA. x 3 1/2" HIGH x 1/2" DIA. HUB BORE, 24 BLADES	X	X
18	Y 40371	AIR TUBE (SPECIFY LENGTH)	X	X
19	C 41501	END CONE, 2 3/4" I.D. x 3 3/4" O.D.	X	
	C 41341	END CONE, 3" I.D. x 3 3/4" O.D.		X
20	A 42651	AIR TUBE ASSEMBLY (ITEMS 18 & 19, SPECIFY LENGTH)	X	
	A 42661	AIR TUBE ASSEMBLY (ITEMS 18 & 19, SPECIFY LENGTH)		X
21	S 42341	FIXED FLANGE	X	X
22	S 42215	BASE LEG (2 REQUIRED)	X	X
23	A 42791	BASE ASSEMBLY (ITEMS 21 & 22)	X	X
24	C 41435	UNIVERSAL FLANGE	X	X
25	C 41436	UNIVERSAL FLANGE WEDGE	X	X
26	A 42811	UNIVERSAL FLANGE ASSEMBLY	X	X

## OIL BURNER OPERATING INSTRUCTIONS

This Burner is listed by UNDERWRITERS' LABORATORIES, INC., and other agencies for  
fuel oil not heavier than No. 2 commercial standard GS-12-49.

### TO START BURNER: (with main burner switch off)

1. Check oil level in storage tank.
2. Open all oil valves.
3. Check water level in boiler.
4. Check fuse or breaker.
5. Set thermostat above room temperature.
6. Open fire door and turn on main switch.

### TO STOP BURNER:

7. Turn off main switch.

### IF BURNER FAILS TO OPERATE:

8. Open fire door.
9. Recheck Items 1-6.
10. Reset button on primary safety control.
11. Press manual reset on motor.
12. If burner still does not start, call service.

### STARTING BURNER AFTER FLAME FAILURE:

13. Open fire door.
14. Do not attempt to start if chamber is hot or if there are fumes or oil in chamber.
15. If Item 14 is satisfactory, reset primary safety control, BUT DO NOT RESET MORE THAN TWICE.

### TO STOP BURNER FOR PROLONGED PERIODS:

Turn off main switch, remove fuse, close oil line valves and fill-oil tank to prevent condensation.

### MAINTENANCE:

Lubricate burner motor twice yearly with 4 drops of #10 S.A.E. motor oil. The complete heating system should be cleaned, adjusted and checked by a serviceman before the start of each heating season.

### INSTRUMENT READING DATA

Date \_\_\_\_\_

Stack CO<sub>2</sub>% \_\_\_\_\_

Over fire CO<sub>2</sub>% \_\_\_\_\_

Air Shutter Setting \_\_\_\_\_

Smoke Spot No. \_\_\_\_\_

Stack Temp. F. \_\_\_\_\_

Room Temp. F. \_\_\_\_\_

Net Stack Temp. F.° \_\_\_\_\_

Stack Draft H<sub>2</sub>O \_\_\_\_\_

Overfire Draft H<sub>2</sub>O \_\_\_\_\_

Nozzle Installed gal./hr. \_\_\_\_\_

Spray Angle ° \_\_\_\_\_

Boiler Mfg. \_\_\_\_\_

Chamber Size \_\_\_\_\_

Combustion Efficiency \_\_\_\_\_

### WHEN SERVICE OR REPAIRS ARE REQUIRED

Call \_\_\_\_\_

Day telephone \_\_\_\_\_ Night telephone \_\_\_\_\_

Always give the following information:

Burner Model \_\_\_\_\_ Serial No. \_\_\_\_\_

Date installed \_\_\_\_\_

### CAUTION

- DO NOT use gasoline, crankcase oil or any oil containing gasoline.
- DO NOT incinerate garbage or refuse in this unit.
- DO NOT tamper with burner or controls — CALL YOUR SERVICE MAN.

**HANG NEAR BURNER**

## ANEXO D.

### BOMBA Y CONTROLADOR DE NIVEL MCDONNELL & MILLER 150S.



### McDonnell & Miller Installation & Maintenance Instructions MM-217(I)

#### Series 150S and 157S

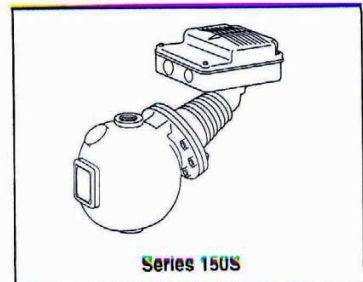


(Snap Switch, All Models except 157S-RB-P)

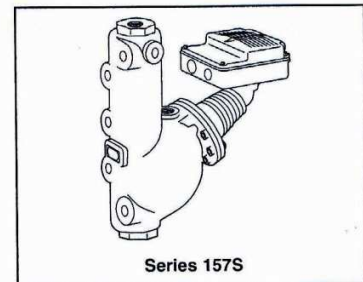
#### Low Water Cut-Off/Pump Controllers For Steam Boilers and Other Level Control Applications

##### Typical Applications:

- Primary or secondary pump controller/ low water fuel cut-off for steam boilers
- Motorized valve controller
- Low water cut-off
- High water cut-off
- Alarm actuator



Series 150S



Series 157S

### ⚠ WARNING



- Before using this product read and understand instructions.
- Save these instructions for future reference.
- All work must be performed by qualified personnel trained in the proper application, installation, and maintenance of plumbing, steam, and electrical equipment and/or systems in accordance with all applicable codes and ordinances.
- To prevent serious burns, the boiler must be cooled to 80°F (27°C) and the pressure must be 0 psi (0 bar) before servicing.
- To prevent electrical shock, turn off the electrical power before making electrical connections.
- This low water cut-off must be installed in series with all other limit and operating controls installed on the boiler. After installation, check for proper operation of all of the limit and operating controls, before leaving the site.
- We recommend that secondary (redundant) Low Water Cut-Off controls be installed on all steam boilers with heat input greater than 400,000 BTU/hour or operating above 15 psi of steam pressure. At least two controls should be connected in series with the burner control circuit to provide safety redundancy protection should the boiler experience a low water condition. Moreover, at each annual outage, the low water cut-offs should be dismantled, inspected, cleaned, and checked for proper calibration and performance.
- To prevent serious personal injury from steam blow down, connect a drain pipe to the control opening to avoid exposure to steam discharge.
- To prevent a fire, do not use this low water cut-off to switch currents over 7.4A, 1/3 Hp at 120 VAC or 3.7A, 1/3 Hp at 240 VAC, unless a starter or relay is used in conjunction with it. Failure to follow this warning could cause property damage, personal injury or death.

## OPERATION

**Maximum Pressure:** 150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)

### Electrical Ratings

Voltage	Pump/Circuit Rating (Amperes)		Pilot Duty
	Full Load	Locked Rotor	
120 VAC	7.4	44.4	345 VA at
240 VAC	3.7	22.2	120 or 240 VAC

Alarm Circuit Rating	
Voltage	Amps
120 VAC	1
240 VAC	1/2

Motor Horsepower	
Voltage	Hp
120 VAC	1/3
240 VAC	1/3

**Enclosure rating:** NEMA 1 General Purpose

### Settings and Differential Pressures

Values are  $\pm 1/8"$  (3.2mm).

Series 150S, 157S			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
<b>0 psi</b> (0 kg/cm <sup>2</sup> )	Pump Off	15/16 (24)	5/16 (8)
	Pump On	5/8 (16)	
	Burner On	5/8 (16)	3/8 (16)
	Burner Off	1/4 (6.4)	
<b>150 psi</b> (10.5 kg/cm <sup>2</sup> )	Pump Off	13/8 (41)	3/4 (19)
	Pump On	5/8 (16)	
	Burner On	7/8 (22)	7/8 (22)
	Burner Off	0 (0)	

**150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>) Levels**

Model 150S-MD, and 157S-MD			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
<b>0 psi</b> (0 kg/cm <sup>2</sup> )	Pump Off	15/16 (24)	3/8 (16)
	Pump On	9/16 (14)	
	Burner Off	0 (0)	N/A
<b>150 psi</b> (10.5 kg/cm <sup>2</sup> )	Pump Off	17/16 (37)	3/4 (19)
	Pump On	11/16 (17)	
	Burner Off	- 3/8 (-16)	N/A

**150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>) Levels**

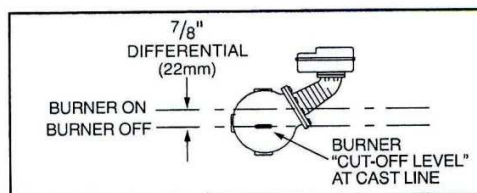
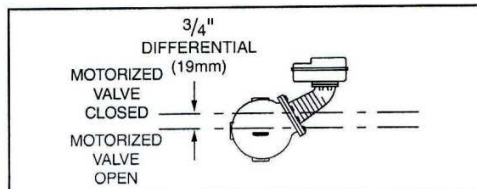
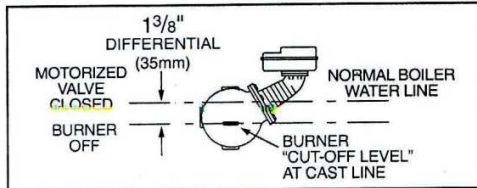


**Settings and Differential Pressures (continued)**

Values are  $\pm 1/8"$  (3.2mm).

<b>Model 158S</b>			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
<b>0 psi (0 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Motorized Valve Closed	15/16 (24)	5/16 (8)
	Motorized Valve Open	5/8 (16)	
	Burner On	5/8 (16)	3/8 (16)
	Burner Off	1/4 (6.4)	
<b>150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Motorized Valve Closed	13/8 (41)	3/4 (19)
	Motorized Valve Open	5/8 (16)	
	Burner On	7/8 (22)	7/8 (22)
	Burner Off	0 (0)	

**150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>) Levels**

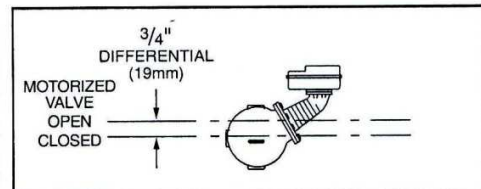
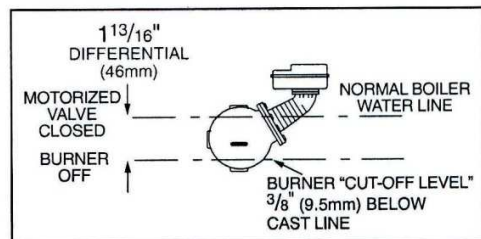


NOTE: Due to the slower operation of some motorized valves, complete valve opening or closing will occur at slightly different levels than indicated above.

**Model 158S-MD**

Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
<b>0 psi (0 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Pump Off	15/16 (24)	3/8 (16)
	Pump On	9/16 (14)	
	Burner Off	0 (0)	N/A
<b>150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Pump Off	17/16 (37)	3/4 (19)
	Pump On	11/16 (17)	
	Burner Off	- 3/8 (-16)	N/A

**150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>) Levels**



NOTE: Due to the slower operation of some motorized valves, complete valve opening or closing will occur at slightly different levels than indicated above.

**Settings and Differential Pressures (continued)**

Values are  $\pm 1/8"$  (3.2mm).

<b>Model 159S</b>			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
<b>0 psi (0 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Pump #1 Off	15/16 (24)	5/16 (8)
	Pump #1 On	5/8 (16)	
	Pump #2 Off	0/8 (16)	3/8 (16)
	Pump #2 On	1/4 (6.4)	
<b>150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Pump #1 Off	1 3/8 (41)	3/4 (19)
	Pump #1 On	5/8 (16)	7/8 (22)
	Pump #2 Off	7/8 (22)	
	Pump #2 On	0 (0)	

**150 psi (10.5 kg/cm<sup>2</sup>) Levels**

1 3/8" DIFFERENTIAL (35mm)  
 PUMP #1 OFF  
 PUMP #2 ON  
 NORMAL BOILER WATER LINE  
 PUMP #2 ON AT CAST LINE

3/4" DIFFERENTIAL (19mm)  
 PUMP #1 OFF  
 PUMP #1 ON  
 NORMAL BOILER WATER LINE

7/8" DIFFERENTIAL (22mm)  
 PUMP #2 OFF  
 PUMP #2 ON  
 PUMP #2 ON AT CAST LINE

## ANEXO E. VÁLVULA DE SEGURIDAD TECVAL - VSRG.

**VSGR**

### ESPECIFICACIONES GENERALES

REFERENCIAS

PRESIÓN MÁXIMA  
DE OPERACIÓN

**VSGR 250 PSI**

**VSGR-I 300 PSI**

**VSGR-IA 750 PSI**

BOQUILLA

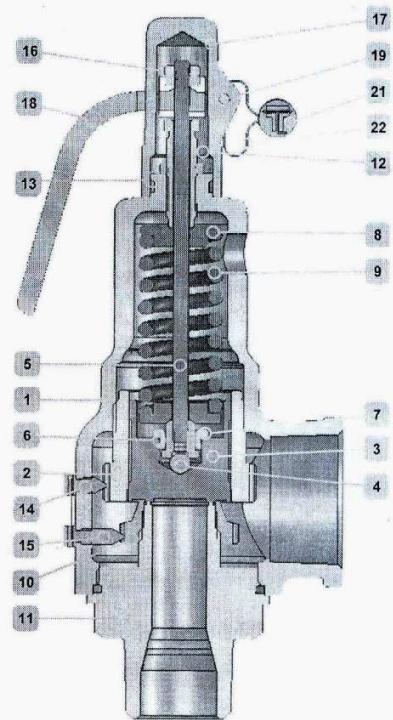
**D Hasta J**

**TABLA DE MATERIALES**

Nº	CANT	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	CUERPO	HIERRO DÚCTIL ASTM A-536
2	1	GUÍA DEL TAPÓN	LATÓN FORJADO
3	1	TAPÓN	LATÓN FORJADO
4	1	ESFERA	ACERO
5	1	VÁSTAGO	ACERO INOX. AISI 304
6	1	PIVOTE	LATÓN
7	1	TUERCA RET. PIVOTE	LATÓN
8	2	ROLDANA	LATÓN
9	1	RESORTE	ACERO AISI 1070
10	1	REGULADOR	LATÓN FORJADO
11	1	CONECTOR	LATÓN FORJADO
12	1	TORN. DE COMP.	LATÓN
13	1	TUERCA TORN. COMP.	LATÓN
14	1	TORN. FJ. GUÍA	LATÓN
15	1	TORN. FJ. REG.	LATÓN
16	2	TUERCA 3/16" 24H ZN	ACERO
17	1	CAPERUZA	BRONCE FUNDIDO
18	1	PALANCA	LATÓN FORJADO
19	1	PASADOR DE LA CAPERUZA	ALUMINIO
20	1	TORN. B.S.C. 5/32" 32H	ACERO INOX.
21	2	SELLOS DE SEGURIDAD	PLOMO
22	2	ALAMBRE FLEXIBLE	ACERO INOX.
23	1	PLACA IDENT.	ACERO INOX.

Para las Válvulas **VSGR-I** y **VSGR-IA** cambian algunos materiales debido a la presión de operación.

DESCRIPCIÓN	VSGR-I	VSGR-IA
CUERPO	HIERRO DÚCTIL ASTM A-536	ACERO AL CARBONO
CONECTOR	ACERO INOX. AISI 304	ACERO INOX. AISI 304
TAPÓN	ACERO INOX. AISI 304	ACERO INOX. AISI 304
GUÍA DEL TAPÓN	LATÓN FORJADO	ACERO INOX. AISI 304
REGULADOR	LATÓN FORJADO	ACERO INOX. AISI 304
VÁSTAGO	ACERO INOX. AISI 304	ACERO INOX. AISI 304
PIVOTE	LATÓN	ACERO INOX. AISI 304



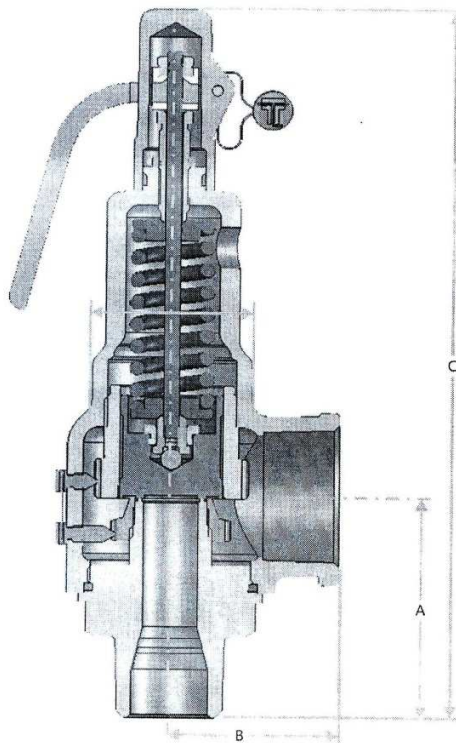
#### GUIAS PARA SELECCIÓN

- Calderas de menos de 100 BHP deben tener por lo menos una válvula de seguridad
- Calderas de más de 100 BHP deben tener por lo menos dos válvulas de seguridad
- Para estaciones reductoras la capacidad de la válvula de seguridad debe ser igual o superior a la capacidad máxima de paso a través de la válvula reguladora
- Siempre escoja la presión de apertura por lo menos un 10% por encima de la presión de operación y no menos de 5 PSI en los casos de presiones por debajo de los 50 PSI.

steam trap

## DIMENSIONES GENERALES

CONEXIÓN		Dimensiones			BOQUILLA		PESO
ENTRADA	SALIDA	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Desig nación	Área de boq. in <sup>2</sup> Cm <sup>2</sup>	
1/2"	3/4"	57	44	166,5	D	0.121    0.781	0.87
3/4"	3/4"	57	44	166,5	D	0.121    0.781	0,91
3/4"	1"	65,5	46	195,5	E	0.216    1.394	1
1"	1"	65,5	46	195,5	E	0.216    1.394	1.50
1"	1 1/4"	68	53	216,5	F	0.338    2.181	1.65
1 1/4"	1 1/4"	68	53	216,5	F	0.338    2.181	1.75
1 1/4"	1 1/2"	77,5	60	240,5	G	0.554    3.574	2.5
1 1/2"	1 1/2"	77,5	60	240,5	G	0.554    3.574	3
1 1/2"	2"	102,5	70	283,8	H	0.863    5.568	3.75
2"	2"	102,5	70	283,8	H	0.863    5.568	4.25
2"	2 1/2"	115,5	88	354	J	1.287    8.303	7.5
2 1/2"	2 1/2"	115,5	88	354	J	1.287    8.303	7.75



Capacidad de descarga para vapor saturado (Lb/hr)

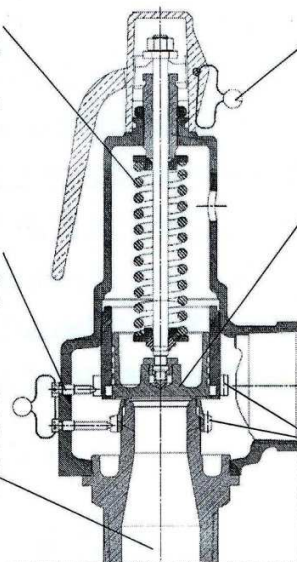
PRESIÓN psi	DESIGNACIÓN DE ORIFICIO Y ÁREA (Pulg <sup>2</sup> )					
	D	E	F	G	H	J
10	0,121	0,216	0,338	0,554	0,863	1,287
10	151	270	422	692	1078	1607
30	276	492	770	1262	1966	2932
60	462	825	1292	2117	3298	4918
90	649	1159	1813	2972	4630	6905
120	836	1492	2335	3827	5962	8892
150	1023	1826	2857	4683	7294	10878
180	1210	2159	3379	5538	8627	12865
210	1396	2493	3900	6393	9959	14851
240	1583	2826	4422	7248	11291	16838
270	1770	3159	4944	8103	12623	18825
300	1957	3493	5466	8958	13955	20811
330	2143	3826	5987	9814	15287	22798
360	2330	4160	6509	10669	16619	24785
390	2517	4493	7031	11524	17951	26771
420	2704	4826	7553	12379	19284	28758
450	2891	5160	8074	13234	20616	30744
480	3077	5493	8596	14089	21948	32731
510	3264	5827	9118	14945	23280	34718
540	3451	6160	9640	15800	24612	36704
570	3638	6494	10161	16655	25944	38691
600	3824	6827	10683	17510	27276	40678
630	4011	7160	11205	18365	28609	42664
660	4198	7494	11726	19220	29941	44651
690	4385	7827	12248	20075	31273	46637
720	4571	8161	12770	20931	32605	48624

## CARACTERÍSTICAS QUE GARANTIZAN LA CALIDAD

**Resortes** diseñados y fabricados en Tecval con tratamiento térmico para evitar fatigas por cambios de temperatura. Garantizan precisión repetitiva en las presiones de apertura y cierre.

**Tornillos de Fijación** retienen los anillos de calibración en las posiciones prefijadas con los bancos de prueba de TECVAL.

**Conector** forjado o extruído incorpora en una sola pieza de alta resistencia, el asiento de la válvula lapeado con planitud ópticamente verificada y la boquilla que garantiza el flujo de la válvula para cada presión de disparo.



**Sellos de seguridad** colocados en fábrica individualmente a todas las válvulas, aseguran una calibración correcta, con el resorte apropiado eliminando los errores que podría cometer un recalibrador.

**Discos** mecanizados con alta precisión, tiene sellos lapeados hasta obtener la planitud verificada ópticamente, garantiza el sellado hermético metal-metal, para brindar una larga vida a la válvula.









**Anillos de calibración** con geometría precisa, son colocados en la posición óptima respecto al disco y el asiento para cumplir las exigencias del código ASME I, sobre apertura y cierre de válvulas de seguridad para calderas.

## RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Asegúrese que el recipiente o la línea no contengan partículas.
- Siempre instale verticalmente
- Utilice el hexágono de ajuste para instalar y desenroscar, evitando daños al cuerpo de la válvula.
- No tapone los orificios de descarga o desfogue.
- No cuelgue la tubería de descarga sobre la conexión de la válvula.
- No viole los sellos de seguridad, de lo contrario perderá la garantía de fábrica

- El mantenimiento puede depender de la limpieza del fluido y del estado de las válvulas, puede variar entre mensual y anualmente.
- Para limpiar los asientos, dispase la válvula subiendo la presión del equipo a la presión de cierre inscrita en la placa y toque levemente la palanca.

## ANEXO F. COTIZACIÓN ANALIZADOR DE GASES IBRID-MX6.

 <p>NIT. 830.041.308-1</p> <p>Fecha: 21/09/2017 Señores: JAIME MALDONADO Atn: Oferta: Solicitud de cotización</p> <p><small>De acuerdo a su solicitud, nos permitimos realizar la respectiva cotización de los productos requeridos.</small></p>	   	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Cotización No. GT2017806</div> <p><b>CONDICIONES COMERCIALES</b>          Tiempo de Entrega: Ver cada ítem          Validez de la Oferta: 15 días calendario</p> <p>Forma de Pago: Contado</p> <p>Sitio de Entrega: DDP</p>								
LOS PRECIOS ESTAN ESTIPULADOS PARA LAS CANTIDADES COTIZADAS										
Item	Cant	Imagen	Descripción	Marca	T. de Entrega	Valor Unitario (sin IVA)	Valor Unitario Especial, cliente NO entrega 1 unidad usada (sin IVA)	Valor Unitario Especial por Reposición, cliente entrega una (1) unidad usada (sin IVA)	Valor Total sin IVA	Valor Total incluyendo IVA
1	1		<p>MONITOR MULTIGAS IBRID-MX6 (Agencia Nacional de Minería cuenta con más de 80 equipos de esta referencia suministrados por SAFETY INSTRUMENTS LTDA.), Para 6 GASES: O2, CH4, CO, H2S, CO2 y NO2. Pantalla Color. Batería recargable Li-Ion (36 Horas). Registro de datos. Lectura de TWA/STEL. Picos, eventos de alarma y etc con fecha y hora en tiempo real. Alarma audible y visual. Lenguaje Español. Incluye: Cargador, estuche con correa de hombros, Elementos calibración, Herramienta de mantenimiento, Manual y Guía de inicio rápido. Cumple con requerimientos de Decreto 1886 del Ministerio de Minas. Equipos 100% nuevos (No remanufacturados) con garantía de por vida en parte electrónica y 2 años para sensores y batería.</p>	Industrial Scientific	Inmediato	\$ 8.900.000	\$ 7.900.000	\$ 7.400.000	\$ 7.900.000	\$ 9.401.000
2	2		<p>Se obsequian 2 servicios de calibración adicionales al que se hace previo al envío del equipo, y vigencia de 3 meses. SOLO PARA MONITOR MULTIGAS IBRID-MX6.</p>	Safety Instruments	-	\$ 175.000	-	-	\$ 350.000	\$416,500 VALOR AGREGADO NO SE COBRA
3	1		<p>Capacitación certificada Virtual sobre uso del Monitor multigas Ibrid-MX6.          Tiempo aproximado: 2 horas.          Número de personas: máx.2          Se entrega certificado</p>	Safety Instruments	A convenir	\$ 400.000	-	-	\$ 400.000	\$476,000 VALOR AGREGADO NO SE COBRA
<p>Presentado por:          Ing. Juan Vásquez          COORDINADOR COMERCIAL  <a href="mailto:juvasquez@safetyinstruments.com.co">juvasquez@safetyinstruments.com.co</a>  <a href="mailto:comercial@safetyinstruments.com.co">comercial@safetyinstruments.com.co</a>          Movil: 312 3869453</p> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">Cra. 7 No. 156-78 Torre 2 - Of. 801 - Centro Empresarial el North Point - Bogotá D.C. - PBX: 804 2204 - <a href="http://www.safetyinstruments.com.co">www.safetyinstruments.com.co</a></p> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">NUESTRO OBJETIVO:          Asesorar, Suministrar y Mantener Productos de la más Alta Calidad - Proveer el Mejor Servicio de Atención y Apoyo al Cliente.</p>										

**ANEXO G.**  
**COTIZACIÓN MEDIDOR DE CAUDAL TIPO TURBINA.**



**RODRIGUEZ Y URBINA LTDA**  
NIT 860068933-1



*Transmisores de presión, temperatura, flujo. Controles de temperatura, Resistencias y sistemas de calefacción. Dataloggers, registradores, Controles de potencia y relés de estado sólido. Sistemas de adquisición de datos, pantallas táctiles. Sensores de proximidad inductivos, capacitivos, fotoeléctricos. Automatización.*



Comercialización de Equipos de  
Instrumentación Industrial CO07/1828  
<http://www.sgs.com/certifiedclients>

Calle 22 A Bis No. 43-28 B. Quinta Paredes Pbx 3440352 Fax 3379837 Bogotá- Colombia

Señores	SR. JAIME MALDONADO	Referencia:	
Atn:	SR. JAIME MALDONADO	COTIZACIÓN:	2908-2017-DC
Tel:	310 8507661	DIA	MES
Fax/C.E:	medjai31@gmail.com	AÑO	VENDEDOR
Ciudad:	Bogotá	14	9
		2017	Diana Camelo

Ítem	Tiempo de despacho	Canti- dad	Unidad	Descripción	Valor Unit USD	Valor Total USD
A	5-6 semanas	1	UN	Medidor de caudal tipo turbina, material del cuerpo plástico presión máxima 16bar, temperatura del medio -20 a 80°C, rango de medición 2-40L/m, conexión 3/4 NPT macho, indicador LED de 3 dígitos, salida conmutación NPN, alimentación 24Vdc, contacto NC/NA programable, conector M12. <b>Marca KOBOLD REF: DRS9350-N5-C30M-0</b>	\$1.148	\$1.148
						
B	5-6 semanas	1	UN	Medidor de caudal tipo turbina, material del cuerpo latón y acero inoxidable, presión máxima 40bar, temperatura ambiente 80°C, rango medición 10-50L/m, conexión 3/4 NPT hembra especial, indicador LED 3 dígitos, salida conmutación PNP, alimentación 24Vdc, contacto NC/NA programable, conector M12. <b>Marca Kobold REF: DPE1110-N5-C34P</b>	\$1.376	\$1.376
						

Validez de oferta:	20 días	SUBTOTAL	\$2.524
Sitio de entrega:	En sus instalaciones		\$0
Forma de pago:	50% Anticipado – 50% Contraentrega		\$0
Garantía:	1 Año por defectos de fabricación	SUBTOTAL	\$2.524
Observaciones:		I.V.A. 19%	\$480
		TOTAL	\$3.004

SI EL TIEMPO DE DESPACHO ES MENOR A UNA SEMANA SE TRATA DE DÍAS HÁBILES

Incluye Fletes/Seguros:

SI     NO

**RODRIGUEZ Y URBINA LTDA** ha seleccionado los equipos de acuerdo con los datos suministrados por ustedes. Sin embargo les rogamos verificar que la información técnica esté de acuerdo con la compatibilidad de su aplicación.

REV#7

**ANEXO H.**  
**COTIZACIÓN TERMOPARES GAS DE COMBUSTIÓN TIPO K.**



**Cotización # 8111**

Carrera 26 N° 11-48 Bogotá \* PBX 3514125 - 2373277  
 E-mail ventas@tecnomedicion.com  
 www.tecnomedicion.com

FECHA	26 de septiembre de 2017	Validez de la Oferta	10 DIAS
Señores:	JAIME	Tiempo de Entrega	CUATRO DIAS HABLES, BAJO ORDEN DE COMPRA, SALVO VENTA PREVIA
Atn.:	Sr. Jaime	Forma de Pago	CONTADO
Ciudad:	BOGOTA	Asesor	LIZETH ALARCON

ITEM	CONCEPTO	PRECIO UNIT	CANTIDAD	TOTAL
1	Relaciono alternativa Termopar tipo K bulbo de 1/4 x 4" libres, conexión de 1/2" NPT con cabezote estandar en aluminio	\$ 145.000	2	\$ 290.000
2	Manometro caratula de 2 1/2" conexión vertical de 1/4" NPT, rango de 0-160 PSI en inox-bronce con glicerina marca Bourdon	\$ 70.000	2	\$ 140.000

Observaciones: (* Material de corte no tiene cambio ni devoluciones	SUBTOTAL	\$ 430.000
	DIO 0%	\$ -
	IVA 19%	\$ 81.700
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 511.700</b>





**ANEXO I.**  
**COTIZACIÓN ANALIZADOR GAS DE COMBUSTIÓN E6000.**



**Técnicas®  
Andinas  
Industriales Ltda**

HOJA 2 DE 2

Bogotá D.C. 08 de Septiembre de 2017  
V-17-60287

Señores  
Email.: [medjai31@gmail.com](mailto:medjai31@gmail.com)  
La Ciudad.

**Ref.: Su solicitud de cotización – Analizador Portátil.**

**Atención: Ing. Jaime.**

Ítem	Cant	Descripción	Valor total
1	1	Analizador de portátil emisiones de combustión para calderas Marca: E Instruments Modelo: E6000 -5DS Rango de CO (celda electroquímica) 0 a 8000 ppm con resolución de 1 ppm y precisión de 8 ppm CO2 (calculado) de 0 a 99.9% con resolución de 0,1% O2 (electroquímica) 0 a 25% / NO 0 a 5000 ppm NO2 0 a 1000 ppm / Nox 0 a 5000 ppm SO2: 0 a 5000 ppm Además realiza lectura de Temperatura de aire y del gas Presión de tiro hasta 80" C.A. Cálculos de exceso de aire y eficiencia Sonda de 12" a 800 °C máx. Y 3 m de manguera Memoria interna de 2000 mediciones Aplicación móvil para Android e impresora Sensores pre calibración y reemplazables Se suministra con accesorios, manual y certificado de calibración	
		<b>Unidad US\$ 6.400.00</b>	<b>US\$ 6.400.00</b>

Calle 60 No. 9 A-31 Ofc. 305 - Bogotá D.C., Colombia - Código Postal **110231288**  
PBX: 7 42 44 46 - Fax.: 3 47 64 93 - Email: [tecnicasandinas@tecnicasandinas.com](mailto:tecnicasandinas@tecnicasandinas.com)  
[www.tecnicasandinas.com](http://www.tecnicasandinas.com)

## **AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES**

Yo Jaime Maldonado Rodríguez en calidad de titular de la obra “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA EVALUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE VAPOR EN LA CALDERA DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR II”, elaborada en el año 2017 , autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	<b>Atribución- no comercial- sin derivar:</b> permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	<b>Atribución – no comercial:</b> permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	<b>Atribución – no comercial – compartir igual:</b> permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

**Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.**

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 07 días del mes de febrero del año 2018.

**EL AUTOR:**

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
JAIME	MALDONADO RODRIGUEZ
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1.018.464.138	