



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DIVISIÓN CURSOS DE TITULACIÓN Y ACTUALIZACIÓN**

**“ELABORACIÓN DE UN ÁRBOL DE FALLA PARA UNA CALDERA  
PÍROTUBULAR TOMANDO COMO EVENTO PRINCIPAL LA EXPLOSIÓN DE  
LA MISMA”**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

*Rodolfo Padilla Rosales*

**ASESOR:**

*M.C Juan Ramón Romero Bucio*

Morelia, Mich.      junio / 2017

## TABLA DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I

| INTRODUCCION   | PAGINA |
|--|--------|
| I.1 importancia de la seguridad en calderas.....                   | 1      |
| I.2 importancias del uso de los métodos de análisis de riesgo..... | 1      |

### CAPITULO II

#### ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 2.1 explosiones de calderas..... | 3 |
|----------------------------------|---|

### CAPÍTULO III

|                |   |
|----------------|---|
| HIPOTESIS..... | 4 |
|----------------|---|

|                |   |
|----------------|---|
| OBJETIVOS..... | 4 |
|----------------|---|

### CAPITULO IV

#### MARCO TEÓRICO

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 4.1 calderaspirotubulares..... | 4 |
|--------------------------------|---|

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 4.1.1 ventajas y desventajas..... | 5 |
|-----------------------------------|---|

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 4.1.2 accesorios..... | 6 |
|-----------------------|---|

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 4.1.3 aplicaciones..... | 7 |
|-------------------------|---|

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 4.2 potencia de una caldera..... | 7 |
|----------------------------------|---|

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 4.3 rendimiento de una caldera..... | 8 |
|-------------------------------------|---|

|  |   |
|--|---|
| 4.3.1 factores que influyen en el rendimiento..... | 8 |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| 4.3.2 condiciones para un mejor rendimiento..... | 8 |
|--|---|

|                     |   |
|---------------------|---|
| 4.4 combustión..... | 9 |
|---------------------|---|

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 4.4.1 combustión del carbono..... | 10 |
|-----------------------------------|----|

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 4.4.2 combustión de otros elementos |  |
|-------------------------------------|--|

|   |    |
|---|----|
| 4.4.3 combustible.....  | 11 |
| 4.4.4 clasificación de los combustibles.....  | 11 |
| 4.5 clasificacion de las fallas.....  | 12 |
| 4.5.1 Falla ruptura súbita de tuberías de calderas.....                               | 12 |
| 4.5.2 rupturas causadas por sobrecalentamiento.....                                   | 12 |
| 4.5.3 oxidación térmica.....  | 12 |
| 4.5.4 rotura por flujo plástico.....  | 13 |
| 4.5.5 forma de eliminación de fallas por sobrecalentamiento<br>de larga duración..... | 13 |
| 4.5.6 sobrecalentamiento de corta duración .....                                      | 14 |
| 4.5.7 efecto de los depósitos.....  | 14 |
| 4.5.8 fallas causadas por corrosión .....   | 15 |
| 4.5.9 fallas causadas por fragilización por efecto de hidrogeno.....                  | 17 |
| 4.6 quemador.....   | 18 |
| 4.6.1 clasificación de los quemadores.....  | 18 |
| 4.6.2 accesorios de un quemador.....  | 19 |
| 4.6.3 fallas de un quemador.....  | 20 |
| 4.7 gases producidos por una caldera.....   | 26 |
| 4.7.1 efectos de los gases producidos por una caldera.....                            | 26 |
| 4.8 reglas de seguridad y normas oficiales .....                                      | 29 |
| 4.8.1 puntos de seguridad.....  | 29 |
| 4.8.2 seguridad por falta de agua.....  | 29 |
| 4.8.3 seguridad por exceso de presión de vapor.....                                   | 30 |
| 4.8.4 seguridad por falla en la flama.....  | 30 |
| 4.8.5 puntos de seguridad diversos.....   | 31 |

|  |    |
|--|----|
| 4.8.6 condiciones mínimas de seguridad de los equipos.....   | 31 |
| 4.8.7 reglamentación.....  | 32 |
| 4.8.8 normas oficial mexicana de recipientes sujetos a presión y calderas-<br>funcionamiento-condiciones de seguridad..... | 33 |
| 4.9 análisis de riesgos.....   | 34 |
| 4.9.1 análisis de árboles de fallas .....  | 34 |
| CAPITULO V   |    |
| METODOLOGIA  |    |
| 5.1 Datos de placa de una caldera.....   | 36 |
| 5.2 Descripción de la caldera.....   | 36 |
| 5.3 Elaboración y aplicación cualitativa de árbol de<br>fallas para una caldera pirotubular.....                           | 38 |
| Conclusiones.....  | 44 |
| Recomendaciones.....   | 45 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 46 |

## LISTA DE FIGURAS

| FIGURA   | PÁGINA |
|--|--------|
| 1. Caldera pirotubular.....                                      | 4      |
| 2. Partes importantes de una caldera pirotubular.....            | 4      |
| 3. Accesorios de una caldera pirotubular. ....                   | 7      |
| 4. Ecuación para el cálculo del rendimiento .....                | 8      |
| 5. reacción de combustión.....                                   | 9      |
| 6. Falla de tubo de caldera por oxidación térmica.....           | 12     |
| 7. Rotura por flujo plástico.....                                | 13     |
| 8. Sobrecalentamiento de corta duración .....                    | 14     |
| 9. Depósitos en el interior de tubos de calderas.....            | 15     |
| 10. Corrosión provocada por exceso de oxígeno en la caldera..... | 16     |
| 11. Corrosión por ceniza de combustible.....                     | 16     |
| 12. Tubería afectada por corrosión bajo esfuerzos.....           | 17     |
| 13. Rotura inducida por el hidrógeno.....                        | 18     |
| 14. Accesorios de un quemador.....                               | 19     |
| 15. Esquema de un quemador de gasóleo.....                       | 20     |
| 16. partes de una caldera marca PIMMSA.....                      | 37     |
| 17 Diagramas árbol de fallas de una caldera.....                 | 38     |

## LISTA DE TABLAS

| TABLA  | PÁGINA |
|--|--------|
| 1. Poder calorífico de algunos combustibles.....             | 11     |
| 2. marcha de los quemadores.....                             | 19     |
| 3. fallas de un quemador.....                                | 24     |
| 4. Gases producidos por una caldera.....                     | 26     |
| 5. Simbología para la elaboración de un árbol de fallas..... | 35     |
| 6. Datos de placa de caldera marca PIMMSA.....               | 36     |

## GLOSARIO

Accidente.- Evento o combinación de eventos no deseados e inesperados instantáneos o no, que tienen consecuencias tales como lesiones o enfermedad al personal, daños a terceros en sus bienes o en su persona, daños a las instalaciones o alteración a la actividad normal de proceso.

Ambiente.- Entorno en el que la organización opera, incluyendo: aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, y su interpretación.

Análisis de riesgo.- Conjunto de técnicas que consisten en la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de ocurrencia de daños asociados a los factores externos (fenómenos naturales, sociales), fallas en los sistemas de control, los sistemas mecánicos, factores humanos y fallas en los sistemas de administración.

Causas.- Son las razones por las que la falla ocurre. Una vez que se ha determinado que la falla puede tener posibles causas, debe considerarse a esto como algo de suma importancia así como una mayor probabilidad de ocurrencia de falla.

Componente.- Es la pieza del equipo por analizar como por ejemplo: válvulas de seguridad,

Consecuencia.- Resultado de un evento no deseado, medido por sus efectos en los empleados, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

Ergonomía.- es la disciplina que se encarga del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas, de modo que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador.

Falla o desviación.- es la desviación de la intención original del componente.

Impacto ambiental.- Cualquier cambio al ambiente, bien sea adverso o benéfico, total o parcial, que resulte de las actividades.

Incidente.- Es el evento o combinación de eventos no planeados que se deben a errores humanos.

Optimo.- Que está en el estado o en el grado mejor o más favorable.

Rentabilidad.- es la capacidad que tiene algo para generar suficiente utilidad o ganancia.

## RESUMEN

La finalidad principal de este trabajo es realizar un árbol de fallas de una caldera de vapor tipo tubular, partiendo del evento principal explosión, que consiste en analizar todas las causas posibles que nos lleven a dicho suceso, para ello es necesario primeramente conocer algunos puntos como: la importancia que tiene la seguridad y el análisis de riesgos en las calderas.

Es necesario saber detalladamente de algunas accidentes ocasionados por explosiones puntos importantes como causas y consecuencias para darle más valor y saber si son o no importantes los análisis.

Se requiere tener conocimiento del funcionamiento y partes principales de que esta constituida, aplicaciones, así como ventajas y desventajas, algunos términos como rendimiento de una caldera, factores que influyen para una mayor eficiencia del equipo. Dar a conocer algunos elementos que muestran la influencia sobre el medio ambiente de los gases de escape, producto de la combustión, emitidos a través de las chimeneas de las calderas de vapor de agua instaladas en industrias, hospitales y centros turísticos. De igual manera conocer el buen funcionamiento de un quemador, fallas de cada una de sus partes para así poder dar un buen resultado y más seguridad en la industria. Un análisis de averías aplicado al quemador que por ser un equipo crítico requiere de una respuesta rápida y oportuna a posibles fallos a presentarse.

Las reglas de seguridad y normas oficiales deben ser analizadas para que se considere el daño y pérdida de vidas que podrían resultar en caso de un accidente, así como los aspectos económicos que lo acompañan. Uno de los riesgos principales en los dispositivos a presión tal como los generadores de vapor, es la liberación brusca de presión y los daños que esta puede ocasionar.

## ABSTRACT

The main purpose of this work is to realize a fault tree of a tubular steam boiler, starting from the main explosion event, which consists of analyzing all the possible causes that lead us to that event, for it is necessary to first know some points Such as: the importance of safety and the analysis of risks in boilers. It is necessary to know in detail of some accidents caused by explosions important points as causes and consequences to give it more value and to know if they are important or not.

It is necessary to have knowledge of the operation and main parts of which is constituted, applications, as well as advantages and disadvantages, some terms like performance of a boiler, factors that influence for a greater efficiency of the equipment. To make known some elements that show the influence on the environment of the exhaust gases, product of the combustion, emitted through the chimneys of steam boilers installed in industries, hospitals and tourist centers. In the same way to know the good operation of a burner, faults of each one of its parts in order to be able to give a good result and more safety in the industry. A fault analysis applied to the burner that, as critical equipment, requires a fast and timely response to possible failures to be presented.

The safety rules and official rules must be analyzed so that the damage and loss of life that could result in an accident, as well as the economic aspects that accompany it, can be costed. One of the major risks in pressure devices such as steam generators is the sudden release of pressure and the damage it can cause.



## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCION

#### 1.1 IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD EN CALDERAS

El estado de seguridad de las calderas debe entenderse como una seguridad integral para garantizar que estas no solo cumplen los objetivos operativos y tecnológicos, sino también aquellos asociados a la responsabilidad social y ambiental, en todas las fases del proceso productivo y en la organización de la empresa. Actualmente se reconocen algunas disciplinas básicas en materia de prevención de riesgos laborales: seguridad industrial, medicina del trabajo, higiene, psicología laboral y ergonomía. Para el desarrollo de esta investigación, solo se tiene en cuenta el área de seguridad industrial, ya que se evalúan las condiciones de seguridad de las calderas en cuestión. La seguridad industrial presente en la operación y mantenimiento debe proporcionar un funcionamiento óptimo y confiable de la caldera así como de los diferentes tipos de control. Estos últimos deben garantizar que las variables asociadas a la operación reduzcan los riesgos, especialmente el de explosión, por las consecuencias e impacto que esta puede tener si se llegara a presentar. Desde el punto de vista empresarial, deben evitarse las fallas e intervenciones violentas de los flujos productivos, que pueden ocasionar daños personales o económicos y alterar por tanto el buen funcionamiento de la empresa. Como elemento clave de este estudio se determinaron las condiciones de seguridad de las calderas seleccionadas al utilizar un instrumento validado por expertos, que contiene aspectos relacionados con los dominios de mantenimiento, operación, capacitación del calderista, condiciones locativas y combustible

<http://www.redalyc.org/pdf/120/12021450004.pdf> pág. 3

#### 1.2 IMPORTANCIA DEL USO DE LOS METODOS DE ANALISIS DE RIESGOS

El desarrollo de los procesos de análisis de riesgos no es tarea fácil. Es fundamental la búsqueda y selección de métodos que se ajusten a las características de las instalaciones para optimizar la inversión, garantizando la efectividad de los análisis, produciéndose el desarrollo de un análisis integral de los procesos o situaciones susceptibles de ser analizadas en la organización.

Es importante partir de la importancia de conocer tanto las características de las instalaciones, como las de los procesos desarrollados en las mismas, de manera que considerando todo ello, podamos hacer un verdadero análisis ajustado realmente a las condiciones del trabajo.

El objetivo de todo ello, no es otro que la búsqueda de la óptima relación del trabajo - persona, y en el desarrollo de esta relación, buscar siempre las mejores condiciones que faciliten una actividad laboral de calidad, ajustada a las

necesidades de la persona a la vez que adecuada a los procesos, garantizando la productividad y la rentabilidad de la actividad para la empresa.

Existen diferentes métodos de análisis, los cuales persiguen la detección de factores susceptibles de ocasionar incidentes o accidentes, para que de ello deriven adaptaciones y modificaciones.

Son múltiples los factores relacionados con el desarrollo de los riesgos de trabajo y como consecuencia de ello, es importante tener en cuenta la importancia de la implicación de todo el personal de la empresa, siendo importante el desarrollo de la percepción del riesgo y la concienciación de los trabajadores, para de este modo fomentar el desarrollo de un clima de trabajo orientado hacia la mejora, la adaptación y eficiencia de los procesos productivos a la persona, a los equipos y herramientas que los constituyen, derivando de ello la creación de un entorno de trabajo en el que se garantice la seguridad y la salud, a la vez que la calidad de los productos y servicios.

En cualquier empresa se producen cambios dentro de el proceso, y como consecuencia la aparición de riesgos. En el seno del desarrollo de la actividad, la tolerancia de grupo al riesgo irá en consecuente disminución a causa de la permanente búsqueda de soluciones que estos realizan y el desarrollo del conocimiento que estos hacen como resultado en el constante proceso de adaptación de los trabajadores a las condiciones de trabajo.

<http://www.prevensystem.com/internacional/520/noticia-la-importancia-del-compromiso-con-el-analisis> pág. 1

## CAPITULO II

## 2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

## 2.1 EXPLOSIONES DE CALDERAS

| LUGAR Y FECHA   | CAUSAS  | CONCECUENCIAS   |
|---|---|---|
| Hospital general regional de Uruapan Mich.<br>6/7/2016                                | Presión de vapor ocasionado por falta de mantenimiento  | .Daños materiales<br>.heridos   |
| Tintoreria ubicada en el centro Morelia Mich.<br>11/09/2012 3:34 pm                   | Explosión por acumulación de gases por falta del proceso de barrido de gases.   | .daños a un restaurante<br>.daños a muro de un domicilio vecino, el daño estructural es significativo<br>.una persona lesionada           |
| EMPRESA<br>MAQUILADORA<br>Blueberry, en Ciudad Juárez, Chihuahua<br>Fecha 24/10/ 2013 | En el dictamen pericial se determinó que el origen del siniestro corresponde a una explosión química, subtipo explosión por combustible del tipo polvos de almidón. | fallecieron ocho personas y 21 más resultaron lesionadas con quemaduras de diversos grados y porcentajes en diferentes partes del cuerpo, |

“Fuente: elaboración propia”

<https://www.youtube.com/watch?v=byRAtaPWWP8>

## CAPÍTULO III

### HIPOTESIS

Los arboles de falla son métodos usados para mejorar la seguridad en las calderas y entender su funcionamiento.

### OBJETIVOS

Desarrollar un árbol de fallas para la caldera pirotubular

## CAPITULO IV

### MARCO TEÓRICO

Caldera es un equipo industrial que transforma la fase líquida en fase vapor aplicando energía calorífica generada por la combustión de sustancias combustibles.

#### 4.1 CALDERAS PIROTUBULARES



Fig. 1 caldera pirotubular

Como su nombre lo indica, en esta caldera el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra por el exterior. Se caracterizan por disponer de tres partes bien definidas:

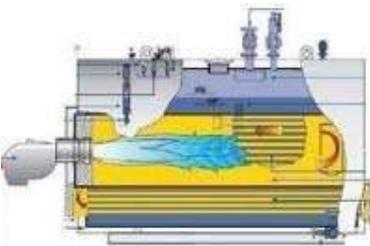


Fig 2. 3 partes importantes de una caldera pirotubular

1. Una caja de fuego donde va montado el hogar. Esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica, es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua.
2. Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.
3. Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiro forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera o utilizando vapor de escape de la máquina.

#### 4.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

##### VENTAJAS

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

- Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

##### DESVENTAJAS

- Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Gran peligro en caso de exposición o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
- No son empleadas para altas presiones

#### 4.1.2 ACCESORIOS fig 3

**Bomba:** alimenta a la caldera de agua, tiene que ser blanda la cual es tratada agua dura a agua blanda en un tratamiento químico llamado ablandamiento, debe ser tratada para evitar daños de corrosión al equipo.

**Sistema de alimentación y control de energía:** Su función es alimentar al quemador de combustible y a la bomba de energía eléctrica

**Quemador:** Esta constituido de: ventilador, motor, boquilla, El ventilador es utilizado para enviar aire a la caldera y se realice el proceso de la combustión, el quemador va a generar energía calorífica que va a ser utilizada para aumentar la temperatura del agua y ser transformada a vapor

**Sistema de control de nivel de agua:** El objetivo del sistema es mantener siempre un nivel de agua dentro de la caldera y va a enviar la señal para que automáticamente se accione la bomba y alimente cuando sea necesario ya que a medida que se genera vapor el nivel de agua va bajando por lo que tiene que ser recuperada.

**Pirómetro:** La función principal es controlar la presión de vapor así como un nivel máximo y mínimo de vapor, dicha presión se registra por un manómetro

**Manómetro:** Se utiliza para medir la presión, la escala va de 0 psi a 200 psi si tuviéramos 100 psi de presión (6.9 bar) corresponde a una temperatura de 169°C.

**Sensor de nivel mínimo y máximo (colocado parte superior de caldera):** La caldera consta de dos sensores el que va conectado en el sistema de control de nivel y otro en parte superior de la caldera con la finalidad de que si falla uno queda en operación el otro.

**Válvula de seguridad o de alivio:** La función principal de esta válvula es que si por alguna razón se genera una sobrepresión la válvula se va a abrir automáticamente y el exceso de vapor saldría, es recomendable el mantenimiento de esta válvula y sería abrirla manualmente mínimo una vez por semana.

**Chimenea:** Es la salida de los gases ocasionados por la combustión.

**Válvula de salida de vapor:** Por medio de esta válvula el vapor producido es enviado al proceso donde será utilizado.

<https://www.youtube.com/watch?v=m5-IKN8MmG8>

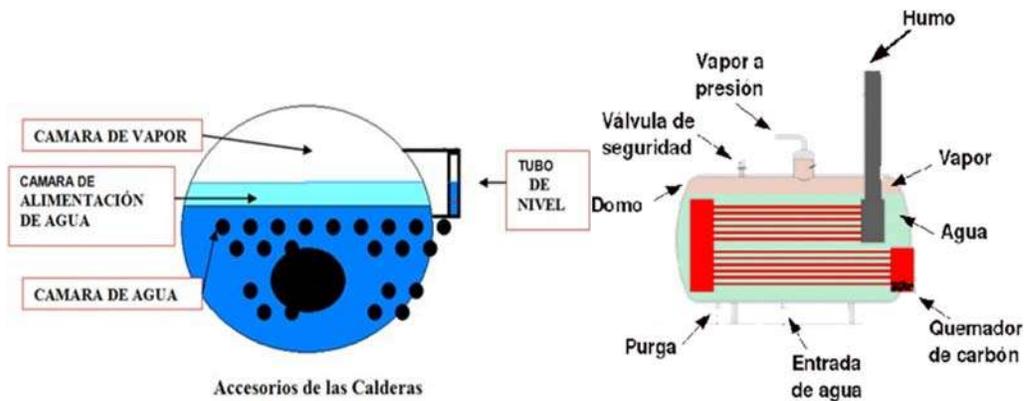


Fig 3 accesorios de una caldera pirotubular

#### 4.1.3 APLICACIONES

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones como:

**Esterilización ( tendarización):** era común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" el instrumental médico; también en los comedores, con capacidad industrial, se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para elaborar alimentos en marmitas (antes se creyó que esta era una técnica de esterilización).

**Para calentar otros fluidos:** como por ejemplo, en la industria petrolera, donde el vapor es muy utilizado para calentar petróleos pesados y mejorar su fluidez.

**Generar electricidad a través de un ciclo Rankine:** La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas. <http://www.cerney.es/aplicaciones>

#### 4.2 POTENCIA DE UNA CALDERA

El tamaño de una caldera es determinado por su "superficie de calefacción" que es aquella parte de la caldera que por un lado está en contacto con el agua y por el otro con el fuego y gases calientes, medida por el lado de los humos y se expresa en metros cuadrados.

Muchas veces por costumbre se designa la potencia de una caldera en caballos de fuerza, lo cual es erróneo, pues una caldera no tiene fuerza motriz sino vapor, el que podría ser utilizado por una máquina que genere fuerza motriz. Según sea la máquina producirá mayor o menor potencia con la misma cantidad de vapor. <https://es.slideshare.net/joseantoniosanchezmarin56/potencia-y-rendimiento-de-la-caldera> pag1

### 4.3 RENDIMIENTO DE UNA CALDERA

**"Es la relación entre la energía (calor) contenida en el vapor y el calor contenido en el combustible que se quema".**

#### 4.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO

Los factores que influyen en una caldera, considerando que un rendimiento de un 70% es el que se logra generalmente en la práctica, serían los siguientes:

- a) Por combustión incompleta.....9.80%
- b) Por gases calientes de chimenea.....14.00%
- c) Por cenizas o escorias.....2.85%
- d) Por radiación y otras causas..... 3.35%
- e) Rendimiento de la caldera.....70.00%

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{CALOR CONTENIDO EN EL VAPOR}}{\text{CALOR CONTENIDO EN EL COMBUSTIBLE QUEMADO}} \times 100$$

Fig 4 Ecuación para el cálculo del rendimiento

#### 4.3.2 CONDICIONES PARA UN MEJOR RENDIMIENTO

1. Mejorando la combustión y sistema de quemar el combustible, su efecto visible será menos hollín saliendo por la chimenea.
2. Procurando que los gases que van a la chimenea fluctúen entre los 200 a 300 °C para no afectar el tiraje ni tener pérdidas exageradas por los gases calientes.
3. Disminuyendo las pérdidas por radiación. Esto se logra aislando la caldera y las cañerías conductoras de vapor o agua caliente con un buen aislante térmico.
4. Utilizando economizadores y precalentadores de aire.
5. Mantener la caldera y los conductos de humo siempre limpios.
6. Haciendo buenos tratamientos al agua de alimentación para evitar incrustaciones.

#### 4.4 COMBUSTION

Combustión es la reacción química mediante la cual las sustancias combustibles reaccionan con el oxígeno, desarrollando luz y calor, a toda sustancia que se pueda quemar se llama combustible. fig 5

Para que haya combustión, es necesario que exista un cuerpo que se quemara llamado combustible, el oxígeno del aire recibe el nombre de comburente y una fuente de calor que entregue la temperatura necesaria. Si uno de estos elementos falta, no puede haber combustión. Ahora, si están los tres elementos, la combustión puede ser mala o incompleta si:

- a. El combustible es inadecuado o de mala calidad.
- b. El aire es poco o insuficiente.
- c. La temperatura es baja.

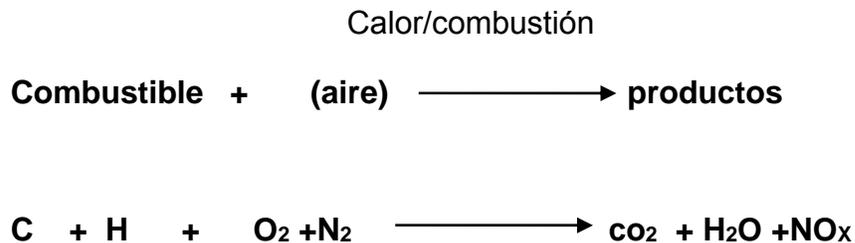


fig. 5 Reacción de combustión

En general todos los combustibles están constituidos por: carbono (C), hidrógeno (H<sub>2</sub>), azufre (S), nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), humedad y cenizas.

Para obtener una buena eficiencia en la caldera es necesario controlar el aire con bastante precisión,

1. Demasiado aire reducirá la temperatura del hogar y arrastrará una buena parte del calor útil.
2. .poco aire producirá una combustión incompleta, se escapará por la chimenea mucho combustible sin quemar y se producirá humo.

#### 4.4.1 COMBUSTION DEL CARBONO

La combustión del carbono depende de la cantidad de oxígeno. Según esto, la combustión puede ser completa o incompleta:

a) COMBUSTION COMPLETA: Si la cantidad de oxígeno es suficiente, la combustión del carbono es completa y se obtiene anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Se aprovecha en este caso la mayor cantidad de calor del combustible, el porcentaje mínimo de anhídrido carbónico que se recomienda es 12%, siendo el ideal 14,5%.

b) COMBUSTION INCOMPLETA: Si el oxígeno que se entrega a la combustión es insuficiente, el combustible no se quema totalmente. En este caso se forma monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y la cantidad de calor que se aprovecha es mucho menor, el monóxido de carbono no debe estar presente en la combustión. Además de significar un daño a la salud, significa que la combustión no es buena, lo que se manifiesta con gases oscuros en la chimenea.

La eliminación del monóxido de carbono en el proceso de combustión es de vital importancia. Esto se logra agregando aire (secundario) para convertir este  $\text{CO}$  en  $\text{CO}_2$ , antes que salga por la chimenea.

Servando A. Alzati combustión de hidrogeno, nitrógeno, carbono aire Calderas de vapor pág. 73.

#### 4.4.2 COMBUSTION DE OTROS ELEMENTOS

a) La combustión del hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) produce agua en estado de vapor que sale con los gases y humos por la chimenea.

b) La combustión del azufre produce anhídrido sulfuroso. Si éste absorbe oxígeno forma anhídrido sulfúrico, que con el agua o humedad de los mismos gases de la combustión da origen a la formación de ácido sulfúrico. Este ácido produce corrosión en las planchas y tubos. El azufre se considera como una impureza perjudicial en los combustibles

c) El nitrógeno es un gas inerte que no se quema, pero llega al hogar, se calienta y arrastra ese calor hacia el exterior por la chimenea.

d) El porcentaje máximo de oxígeno que debe salir por la chimenea debe ser de un 6%, siendo el ideal un 2%.

e) La humedad, por ser agua, no se quema y sólo se transforma en vapor, que se pierde junto con el calor que absorbe.

f) Las cenizas también son sustancias incombustibles; luego no se queman. Servando A. Alzati combustión de hidrogeno, nitrógeno, carbono aire. pág.75 y 76.

#### 4.4.3 COMBUSTIBLE

Existen muchas sustancias combustibles, tanto no renovables como renovables, pero no todas pueden usarse en procesos con fines prácticos o para utilizarse en calderas. En general, los combustibles se dividen según su estado físico en sólidos, líquidos y gaseosos y, asimismo, éstos pueden ser naturales o artificiales.

Servando A.Alzati combustion pag 73

#### 4.4.4 CLASIFICACION DE LOS COMBUSTIBLES

Su clasificación se hace en base a su "PODER CALORIFICO". Que es la cantidad de calor que se obtiene al quemar un kilogramo de combustible.

Cuando se trata de combustibles sólidos se expresa en Kcal/Kg. Cuando se trata de combustibles líquidos Kcal/M3, o Kcal/Ltrs. y para los combustibles gaseosos se expresa en Kcal/m3.

En la tabla 10 siguiente se expresa el poder calorífico de algunos de los combustibles más usados:

| <b>COMBUSTIBLE SOLIDO</b>         | <b>PODER CALORIFICO</b>   |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Carbón de piedra                  | 6.500 a 7.100 Kcal/Kg.    |
| Carboncillo                       | 6.000 a 6.500 Kcal/Kg.    |
| Carbón coke                       | 6.000 a 6.600 Kcal/Kg.    |
| Leña                              | 3.000 a 3.700 Kcal/Kg.    |
| Basuras o desperdicios domésticos | 1.800 a 2.200 Kcal/Kg.    |
| <b>COMBUSTIBLES LIQUIDOS</b>      |                           |
| Petróleo diesel o Fuel Oil        | 8.500 a 10.500 Kcal/Ltrs  |
| Kerosene                          | 10.000 a 11.000 Kcal/Ltrs |
| Alquitrán combustible             | 9.000 a 10.000 Kcal/Ltrs  |
| <b>COMBUSTIBLES GASEOSOS</b>      |                           |
| Gas licuado (de petróleo)GLP      | 11.500 a 12.000 Kcal/m3   |
| Gas de alumbrado (de carbón)      | 10.000 a 11.000 Kcal/m3   |

Tabla 1 Poder calorífico de algunos combustible

## 4.5 CLASIFICACION DE LAS FALLAS

Las fallas se clasifican en: falla ruptura súbita de tuberías de calderas, rupturas causadas por sobrecalentamiento, oxidación térmica, rotura por flujo plástico, fallas causadas por corrosión, fallas causadas por fragilización por efecto de hidrógeno.

### 4.5.1 FALLA RUPTURA SÚBITA DE TUBERÍAS DE CALDERAS

. La ruptura de los tubos de las calderas es una falla muy seria, porque en las calderas puede causar un inmediato aumento en la erosión de tubos adyacentes y provocar escapes de vapor en los lados de las paredes del horno, el sobrecalentamiento de otros tubos puede causar la pérdida de la circulación en la caldera y dañar otros componentes del sistema, lo que resulta en una pérdida del fluido de trabajo.

La ruptura de tubos puede clasificarse como:

1. rupturas causadas por sobrecalentamiento
2. rupturas causadas por fragilización

### 4.5.2 RUPTURAS CAUSADAS POR SOBRECALENTAMIENTO

Dentro de estas fallas tenemos a las causadas por una exposición de larga duración, provocada por la pérdida de resistencia en el acero a alta temperatura y la de corta duración provocadas por ejemplo, por la falta de agua en el sistema.

### 4.5.3 OXIDACION TERMICA (Figura 6)

Un signo de sobrecalentamiento de larga duración, puede ser una capa gruesa, frágil y oscura de óxido sobre las superficies tanto interna como externa. El adelgazamiento de la pared del tubo puede ser resultado de la oxidación térmica cíclica y el desprendimiento de costras, este proceso puede continuar hasta que toda la pared se convierta en óxido, con lo que se crea un agujero.



Figura 6. Falla de tubo de caldera por oxidación térmica

#### 4.5.4 ROTURA POR FLUJO PLASTICO

Es una forma de daño por sobrecalentamiento de larga duración que produce una rotura de labios gruesos en la cúspide de una comba. El flujo plástico produce una deformación plástica lenta y, por último, la coalescencia de micro vacíos del metal durante el sobrecalentamiento, a menudo, se tendrá una pequeña fisura longitudinal, en la cúspide de la rotura suele tener bordes romos y ligeramente dentados. fig. 7



fig. 7 Rotura por flujo plástico

#### 4.5.5 FORMA DE ELIMINACION DE FALLAS POR SOBRECALENTAMIENTO DE LARGA DURACION

1. Para eliminar este problema se requiere de la supervisión de un defecto crónico del sistema.
2. Se deben quitar los depósitos excesivos por limpieza química o mecánica y evitar su recurrencia.
3. Deben revisarse los procedimientos de combustión, el valor en Btu de los combustibles y las temperaturas en servicio del hogar cerca de las áreas sobrecalentadas.
4. Debe identificarse y eliminarse la fuente de los depósitos significativos.

Las causas comunes de depósitos incluyen el tratamiento incorrecto del agua, la contaminación del sistema, la operación incorrecta de la caldera o la entrada excesiva de calor, o ambas cosas.

#### 4.5.6 SOBRECALENTAMIENTO DE CORTA DURACION

El nivel bajo del agua es la principal causa, las fallas muchas veces ocurrirán cerca de la parte superior de las pantallas de agua, en las cercanías de los colectores de vapor.

.Las condiciones que conducen a un sobrecalentamiento de corta duración son el taponamiento parcial o total del tubo y el flujo insuficiente de refrigerante, debido a condiciones alteradas o una entrada excesiva de calor del lado del hogar, o ambas cosas. fig 8



fig. 8. Sobrecalentamiento de corta duración

#### 4.5.7 EFECTO DE LOS DEPOSITOS

Se pueden producir depósitos en cualquier parte en donde se encuentren presentes agua o vapor en una caldera. Los depósitos en los tubos suelen estar formados por productos de la corrosión que han sido arrastrados desde sus sitios originales

El término *depósitos* se refiere a materiales que se originan en otra parte y son transportados hasta un lugar en que se depositan. fig 9



fig. 9 Depósitos en el interior de tubos de calderas

Los depósitos de la caldera provienen de cuatro fuentes: los minerales arrastrados por el agua, los productos químicos para tratamiento, los productos de corrosión y los contaminantes.

#### 4.5.8 FALLAS CAUSADAS POR CORROSION

##### a) CORROSION EN EL LADO DEL AGUA

La corrosión más común encontrada en el lado del agua es debida al oxígeno. las tres maneras de que el oxígeno pueda ser admitido por el lado del agua en los sistemas de vapor son:

- 1.-durante la operación, el aire puede quedar encerrado en el sistema en regiones donde la presión interna es menor que la atmosférica.
- 2.-Usualmente, el aire es admitido en el sistema cada vez que es abierta para ser reparada o limpiada.
- 3.- El oxígeno libre está relacionado también como un producto de la disociación molecular del agua.

##### b) CORROSION EN EL LADO DEL FUEGO

Los aceites combustibles tienen cenizas que no frecuentemente exceden el 0.2%. la corrosión de la quema de estos aceites puede causar problemas, debido a los depósitos naturales de cenizas de aceite. Muchos de los contaminantes en los aceites combustibles son el vanadio, el sodio y los sulfuros, elementos que tienen variados componentes, muchos de los cuales son extremadamente corrosivos.

##### c) CORROSION POR OXIGENO

Los tres factores críticos que rigen el arranque y progreso de la corrosión por oxígeno incluyen la presencia de humedad o de agua, la presencia de oxígeno disuelto y una superficie no protegida del metal.fig 10



fig. 10 Corrosión provocada por exceso de oxígeno en la caldera

#### d) CORROSION POR CENIZA DE COMBUSTIBLE

La corrosión por ceniza de combustible es un fenómeno de corrosión que se da a elevada temperatura que por lo general ocurre en donde las temperaturas del metal se encuentran en el rango de 593 a 816°C.

Se puede desarrollar una escoria corrosiva cuando se usa combustible que contiene niveles elevados de vanadio, sodio o azufre, o una combinación de estos elementos; cuando se cuenta con cantidades excesivas de más aire del necesario para la formación de  $V_2O_5$ , o cuando se alcanzan temperaturas del metal mayores que 593° C. fig. 11



fig. 11 Corrosión por ceniza de combustible

#### e) CORROSION BAJO ESFUERZO

Los esfuerzos de tensión pueden ser aplicados, como los causados por la presión interna, o residuales, como los inducidos por la soldadura.

El corrosivo específico para los aceros al carbono en los sistemas de calderas es el hidróxido de sodio; para los aceros inoxidable, el corrosivo puede ser hidróxido de sodio o cloruros. Las infiltraciones pequeñas pueden conducir a la concentración de corrosivos. fig. 12



Fig 12 Tubería afectada por corrosión bajo esfuerzos

#### 4.5.9 FALLAS CAUSADAS POR FRAGILIZACION POR EFECTO DE HIDROGENO

El daño puede provenir de una reacción de corrosión por alto pH o de una reacción de corrosión por bajo pH.

El hidróxido de sodio concentrado disuelve el óxido magnético de hierro, con la cubierta protectora destruida, entonces el agua puede reaccionar directamente con el hierro para desprender hidrógeno atómico, el hidróxido de sodio también puede reaccionar con el hierro para producir hidrógeno.

Si se libera hidrógeno atómico, puede difundirse hacia el acero, parte de este hidrógeno atómico difundido se combinará en las fronteras de los granos del metal para producir hidrógeno molecular o metano. En estos gases se acumulan hasta que las presiones causan la separación del metal en las fronteras de sus granos, con lo que se producen micro grietas inter granulares discontinuas. Al acumularse, la resistencia mecánica del tubo disminuye hasta que los esfuerzos por la presión sobrepasan la resistencia del metal, en este punto se puede tener una explosión.

fig. 13



fig. 13 Rotura inducida por el hidrógeno.

[https://www.researchgate.net/publication/2869294Causa\\_de\\_Fallas\\_en\\_Calderas](https://www.researchgate.net/publication/2869294Causa_de_Fallas_en_Calderas)  
pag 56 a 65

#### 4.6 QUEMADOR

Es un mecanismo que introduce la mezcla adecuada de combustible y aire a la cámara de combustión, donde la mezcla es quemada y los productos de la combustión son removidos.

#### 4.6.1 CLASIFICACION DE LOS QUEMADORES:

##### a) DE UNA MARCHA

Son quemadores que sólo pueden funcionar con la potencia a la que hayan sido regulados, son quemadores de pequeña potencia.

##### b) DE VARIAS MARCHAS

Son quemadores con dos o más escalones de potencia (habitualmente dos); es decir, que pueden funcionar produciendo potencias distintas, deben disponer de los elementos necesarios para poder regular la admisión de aire y el gasto de combustible, de modo que en cada escalón de potencia se obtenga el rendimiento de combustión más alto posible, se utilizan para potencias intermedias o altas.

##### c) MODULANTES

Estos quemadores ajustan continuamente la relación aire - combustible, de manera que pueden trabajar con rendimientos elevados en una amplia gama de potencias; adecuándose de manera continua a las necesidades de producción.

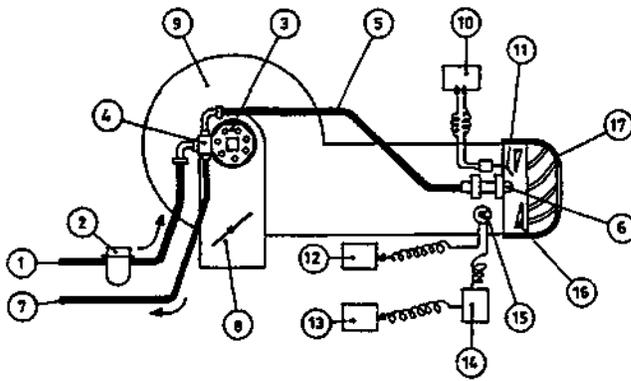
En la siguiente tabla se indica el número de marchas de los quemadores en función de la potencia de los generadores de calor (horno, calderas, etc.).

Tabla 2 marcha de los quemadores

| Potencia del generador de calor (kW) | Tipo de regulación del quemador |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| $P < 100$                            | una marcha (todo-nada)          |
| $100 < P < 800$                      | dos marchas (todo-poco-nada )   |
| $800 < P$                            | Modulante                       |

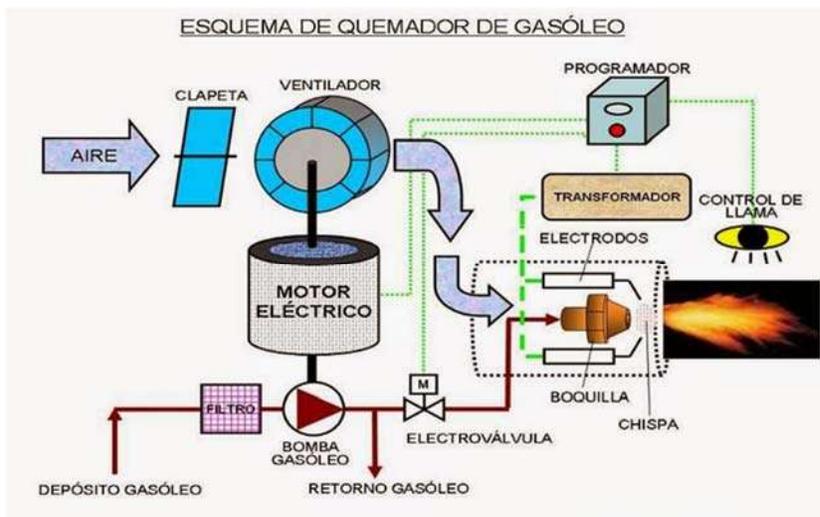
“Fuente: elaboración propia”

#### 4.6.2 ACCESORIOS DE UN QUEMADOR



- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. Conducto de llegada del combustible    | 8. Válvula de regulación de aire |
| 2. Filtro                                 | 9. Ventilador                    |
| 3. Bomba                                  | 10. Transformador                |
| 4. Regulador de presión                   | 11. Electrodo                    |
| 5. Conducto de la alimentación al gliceur | 12. Contactor                    |
| 6. Gliceur (pico)                         | 13. Motor                        |
| 7. Conducto de retorno de combustible     | 14. Relais                       |
|   | 15. Célula fotorresistente       |
|   | 16. Deflector                    |
|   | 17. Boca                         |

fig. 14 Accesorios de un quemador



“Fuente: diagramas de quemadores goglee”

fig. 15 Esquema de un quemador de gasóleo

## 4.6.3 FALLAS DE UN QUEMADOR

|  |                           |
|--|---------------------------|
| PROBLEMA                                       |                           |
| El quemador no se pone en marcha               |                           |
| POSIBLE CAUSA                                  | SOLUCION                  |
| Falta energía eléctrica                        | Cerrar interruptores      |
| Un termostato de límite o de seguridad abierto | Comprobar fusibles        |
| Bloqueo caja de control                        | Regularlo o sustituirlo   |
| Bloqueo motor                                  | Desbloquear caja control  |
| Bomba bloqueada                                | Sustituirla               |
| Conexiones eléctricas erróneas                 | Comprobarlos              |
| Caja de control defectuosa                     | Sustituirla               |
| Motor eléctrico defectuoso                     | Sustituirlo               |
| PROBLEMA                                       |                           |
| El quemador se pone en marcha y se bloquea     |                           |
| POSIBLE CAUSA                                  | SOLUCION                  |
| Fotocelda en cortocircuito                     | Sustituir fotocelda       |
| Luz externa o simulación de llama              | Eliminar luz              |
| Alimentación eléctrica a dos fases             | sustituir caja de control |
| Intervención del relé térmico                  | Desbloquear relé térmico  |

“Fuente: gestión del mantenimiento”

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| PROBLEMA : superada la preventilación y el tiempo de seguridad, el quemador se bloquea sin aparición de llama |                                   |
| POSIBLE CAUSA   | SOLUCION                          |
| Falta combustible   | Llenar el tanque                  |
| Electroválvulas gasóleo no abren (1ª etapa o seguridad).  | Comprobar conexiones              |
| Boquilla 1ª etapa obstruida, sucia o deformada  | Sustituirla                       |
| Electrodos de encendido mal regulados o sucios  | Regularlos o limpiarlos           |
| Electrodo a masa por aislamiento roto   | Sustituirlo                       |
| Cable alta tensión defectuoso o a masa  | Sustituirlo                       |
| Cable alta tensión deformado por temperatura alta   | sustituirlo y protegerlo          |
| Transformador de encendido defectuoso   | Sustituirlo                       |
| Conexiones eléctricas o de válvulas erróneas  | Comprobarlos                      |
| Caja de control defectuosa  | Sustituirla                       |
| Bomba no cebada   | Cebarla                           |
| Matrimonio motor-bomba rota   | Sustituirla                       |
| Válvulas antes de la bomba cerradas   | Abrirlas                          |
| Giro contrario del motor  | Cambiar las conexiones eléctricas |

“Fuente: gestion del mantenimiento”

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| PROBLEMA:<br>La llama se enciende normalmente pero el quemador se bloquea al término del tiempo de seguridad. |                                       |
| POSIBLE CAUSA   | SOLUCION                              |
| fotocelda o caja de control defectuosa  | Sustituir fotocelda o caja de control |
| Fotocelda sucia   | Limpiarla                             |
| 1ª etapa del hidráulico defectuosa  | Sustituir hidráulico                  |

|  |                              |
|--|------------------------------|
| PROBLEMA:<br>Encendido con pulsaciones o con desprendimiento de llama, encendido retardado |                              |
| POSIBLE CAUSA  | SOLUCION                     |
| Cabeza mal regulada  | Regularla                    |
| Electrodos de encendido mal regulados o sucios   | Regularlos o limpiarlos      |
| Presión bomba no adecuada  | Regularla: entre 10 y 14 bar |

“Fuente: gestion del mantenimiento”

|   |             |
|---|-------------|
| PROBLEMA<br>El quemador no pasa a 2ª etapa    |             |
| POSIBLE CAUSA                                 | SOLUCION    |
| Mala calibración de aire                      | Regularla   |
| Caja de control defectuosa                    | Sustituirla |
| Bobina electro válvula de 2ª etapa defectuosa | Sustituirla |
| Servomando defectuoso                         | Sustituir   |

|  |             |
|--|-------------|
| PROBLEMA<br>Bloqueo del quemador al pasar de 1ª a 2ª etapa o de 2ª a 1ª etapa. El quemador repite el ciclo de arranque |             |
| POSIBLE CAUSA  | SOLUCION    |
| Boquilla sucia   | Sustituirla |
| Fotocélula sucia   | Limpiarla   |
| Exceso de aire   | Reducirlo   |

“Fuente: gestion del mantenimiento”

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| PROBLEMA                        |            |
| Bomba ruidosa                   |            |
| POSIBLE CAUSA                   | SOLUCION   |
| Diámetro tubo demasiado pequeño | Aumentarlo |
| Filtros sucios                  | Limpiarlos |
| Válvulas cerradas               | Abrirlas   |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| PROBLEMA                               |                               |
| Llama con humo                         |                               |
| POSIBLE CAUSA                          | SOLUCION                      |
| Poco aire                              | Regular                       |
| Boquilla sucia o deteriorada           | Sustituirla                   |
| Filtro boquilla sucio                  | Limpiarlo o sustituirlo       |
| Presión bomba errónea                  | Regularla: entre 10 y 14 bar. |
| Aperturas de ventilación insuficientes | Aumentarlas                   |
| PROBLEMA                               |                               |
| Cabeza de combustión sucia             |                               |
| Filtros Sucios                         | Sustituirlo                   |

“Fuente: gestion del mantenimiento”

Tabla 3 Fallas de un quemador

BURNERS: “Gestión del mantenimiento”, Ed.3, pág. 20 a 25.

#### 4.7 GASES PRODUCIDOS POR UNA CALDERA

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| SO <sub>2</sub>                 | Anhídrido sulfuroso  |
| CO                              | Monóxido de carbono  |
| C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | Benzopireno          |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | Pentóxido de vanadio |
| NO <sub>x</sub>                 | Óxidos de nitrógeno, |
| CENIZAS                         | Cenizas              |
| HOLLIN                          | Hollín               |
|                                 |                      |

“Fuente: elaboración propia”

Tabla 4 Gases producidos por una caldera

#### 4.7.1 EFECTOS DE LOS GASES PRODUCIDOS POR UNA CALDERA

##### a ) EN LA SALUD HUMANA

###### MONÓXIDO DE CARBONO

Es una sustancia que se genera fundamentalmente por la combustión incompleta de aceites, maderas y carbón, existiendo un gran riesgo de inhalación que, en pequeñas concentraciones, puede dar lugar a confusión mental, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, debilidad y pérdida del conocimiento.

###### ANHÍDRIDO SULFUROSO

Es una sustancia que genera aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, catarros y dificultades respiratorias tanto en los hombres como en las mujeres adultas. Se ha observado igualmente, que cuando las concentraciones tanto de SO<sub>2</sub> como de partículas en suspensión superan los 500 microgramos / metro cúbico de aire, promedio 24 horas, se produce mortalidad.

###### BENZOPIRENO

Pueden provocar modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, siendo algunos de ellos cancerígenos.

###### PENTÓXIDO DE VANADIO

Irrita la piel y mucosas (0,1 miligramos / metro cúbico después de 8 horas) y actúa como un tóxico sanguíneo, hepático y renal. Los síntomas de intoxicación por exposición crónica son: bronquitis, neumonía, anemia, lesiones hepáticas y renales (concentraciones de 0,1 - 0,4 miligramos / metro cúbico) durante 10 años pueden generar cambios en las mucosas nasales, bronquitis crónica y decoloración de la lengua (HORN, 1989).

###### ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los efectos producidos por el NO<sub>2</sub> sobre los animales y los seres humanos afectan, casi por entero, al tracto respiratorio. Se ha observado que una concentración media de 190 microgramos de NO<sub>2</sub> por metro cúbico de aire, superada el 40% de los días, aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta. Los óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, son contaminantes igualmente peligrosos para la salud.

###### CENIZAS Y HOLLÍN

Las partículas sólidas dispersas en la atmósfera como el hollín (C) y las cenizas, cuyo diámetro va de 0.3 a 10  $\mu\text{m}$  en su fracción respirable, tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares provocando irritación en las vías respiratorias; su acumulación en los pulmones agrava el asma y las enfermedades cardiovasculares.

b) EN LAS PLANTAS

### MONÓXIDO DE CARBONO

Los daños causados en las plantas se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas que presentan un color marrón-rojizo-blanco, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas. Si la acción del contaminante es muy fuerte puede llegar a paralizar el crecimiento de la planta.

### ANHÍDRIDO SULFUROSO

Exposiciones medias diarias de 130 microgramos de  $\text{SO}_2$  por metro cúbico de aire durante el período de crecimiento, pueden causar daños en las coníferas más sensibles. Exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de 50 microgramos por metro cúbico de aire pueden causar daños a especies forestales sensibles. Las brumas de ácido sulfúrico, causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla.

### ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Entre los óxidos de nitrógeno solo el  $\text{NO}_2$  es tóxico para las plantas, a pequeñas concentraciones y largo tiempo de exposición. Los daños se manifiestan por la aparición de necrosis y clorosis de color negro o marrón rojizo en las hojas. Los sinergismos de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  provocan a bajas concentraciones alteraciones en la vegetación. Este hecho se ha observado en las zonas urbanas.

### CENIZAS Y HOLLÍN

El hollín (C) y las cenizas interfieren en la fotosíntesis de las plantas.

### c) EFECTOS GLOBALES

El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otros contaminantes en la atmósfera puede dar lugar a una elevación general de la temperatura del globo terráqueo, el llamado “efecto invernadero”, que modificaría el régimen de lluvias, lo que produciría alteraciones sobre las tierras cultivables y la extensión de los desiertos.

### d) EFECTOS SOBRE EL CLIMA (efecto invernadero)

El incremento de la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera puede alterar la temperatura de la Tierra debido a que el CO<sub>2</sub> es transparente a la radiación solar recibida del sol, dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra. El efecto total es que cuanto mayor sea la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, mayor es la cantidad de energía recibida por la Tierra desde el sol que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor. Este fenómeno que se conoce con el nombre de “efecto invernadero” produciría un recalentamiento de la atmósfera

[www.redalyc.org/pdf/1813/181322792006.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1813/181322792006.pdf)

## 4.8 REGLAS DE SEGURIDAD Y NORMAS OFICIALES

En la operación de un generador de vapor se debe considerar el daño y pérdida de vidas que podrían resultar en caso de un accidente, así como los aspectos económicos que lo acompañan. Uno de los riesgos principales en los dispositivos a presión tal como los generadores de vapor, es la liberación brusca de presión y los daños que esta puede ocasionar.

El principal riesgo que presentan las calderas son las explosiones, las cuales se pueden clasificar e en:

Explosiones mecánicas: derivadas de los efectos de sobrepresión, como con consecuencia de falla de agua, falla de prestató o falla en dispositivos de alivio de presión.

Explosión química: esta es la más común y tiene su origen en la explosión de gases combustible en el hogar, regularmente se deben a fallas de los sistemas de barridos de gases o falla en los dispositivos de regulación combustible.

Para evitar cualquier riesgo inminente y que ponga en peligro la integridad física del equipo y de los operarios se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos.

### 4.8.1 PUNTOS DE SEGURIDAD.

El generador de vapor debe ser inspeccionado y monitoreado continuamente para identificar posibles fallas que puedan causar algún accidente. Además de hacer una inspección visual del mismo y verificar el buen estado del generador, tomando en cuenta los siguientes puntos de seguridad.

#### 4.8.2 SEGURIDAD POR FALTA DE AGUA

Se debe purgar cada semana los tubos de conducción de agua con el objetivo de eliminar cualquier posible formación de incrustaciones en los mismos ya que la falta de agua en el sistema puede causar sobrecalentamiento, pérdida de propiedades mecánicas hasta las explosiones de los tubos.

Las incrustaciones son un obstáculo al paso del agua, cuando se presenta este problema se sugiere el desconectarla fuente de combustión al equipo, dejarlo enfriar y abrir las válvulas para de esta forma permitir la salida de vapores y gases que pueden ser inflamables, los cuales pueden ocasionar un accidente por quemaduras o incluso la muerte.

Hay ocasiones cuando las incrustaciones no es nuestro único problema, existen ocasiones que este problema se atribuye a la bomba de alimentación, la cual no proporciona la presión y el caudal de agua de acuerdo con las características de la bomba.

#### 4.8.3 SEGURIDAD POR EXCESO DE PRESION DE VAPOR

Dentro del generador se encuentran presiones muy elevadas, en ocasiones se incrementa la presión por lo cual se utiliza una válvula de seguridad para liberar el exceso de presión. es muy importante que la válvula de seguridad funcione en el momento preciso de existir un aumento en la presión, ya que de no ser así puede ocasionar la explosión del generador causando quemaduras e incluso la muerte.

Se recomienda que la válvula sea habra mínimo cada 6 meses, esto se puede hacer aumentando la presión del agua en la bomba o manualmente accionando la palanca, también una observación constante para detectar y limpiar toda materia extraña que puede pegarse al asiento de la válvula que impide un buen funcionamiento.

#### 4.8.4 SEGURIDAD POR FALLA EN LA FLAMA

La combustión instantánea puede ser debida a un fallo de la flama y a un reencendido que provoque la explosión. En ambos casos, además de existir una mayor contaminación puede causar corrosión y el debilitamiento de los componentes. Las posibles causas son fallas en los controles de aire y combustible, fugas, corrosión, fragilizacion.

Es recomendable conocer el estado de la línea de gas, procediendo a su limpieza o reposición en caso necesario. Realizar una inspección visual del encendido del quemador y forma de la flama, regulando la mezcla en el caso de presencia de hollín en los humos.

#### 4.8.5 PUNTOS DE SEGURIDAD DIVERSOS

Periódicamente conforme lo indica el manual mantenimiento se debe hacer una inspección total del equipo de control, incluyendo la comprobación de la correcta señalización del manómetro general del generador, medidores de presión así como sus displays, termómetros, sustituyéndose en caso de existir diferencias sensibles en la lectura de los mismos. Al igual que la verificación del buen estado del equipo, checando las uniones y conexiones de la tubería, el estado de las láminas y la fibra cerámica.

Por lo que se refiere al sistema se purgaría cada vez que se deje de utilizar por un tiempo considerable de tiempo con el objeto de conseguir un perfecto estado de limpieza del mismo, evitando de esta forma las incrustaciones en la tubería. Esto se hace accionando la válvula de agua y haciendo pasar aire comprimido una vez que se haya vaciado por completo.

#### 4.8.6 CONDICIONES MINIMAS DE SEGURIDAD DE LOS EQUIPOS

Los puntos citados anteriormente los podemos llamar críticos ya que son los más comunes, pero además existen puntos que van relacionados con las Normas Oficiales que no podemos pasar por desapercibidas. Entre los puntos para la seguridad física y operativa del generador encontramos:

1. El generador no debe ser ubicado cerca de tránsito de vehículos, si es así debe ser resguardado contra golpes o impactos.
2. el sistema de soporte del equipo debe mantenerse en condiciones tales que no afecten la operación segura del equipo, considerando, según se requiera apriete de las partes, corrosión, inestabilidad, vibraciones, y nivelación.
3. el equipo debe disponer de espacio libre necesario para las actividades de operación, mantenimiento y revisión.
4. las temperaturas de operación del equipo son extremas, por lo tanto debe estar protegido el equipo y en caso de posible evitar el contacto con personas.

El equipo cuenta con aparatos auxiliares, instrumentos de medición de presión y dispositivos de seguridad, de acuerdo con lo siguiente:

1. el rango de los instrumentos de medición de presión abarcan entre 1.5 y 4 veces la presión normal de operación,
2. los instrumentos de medición de presión, aparatos auxiliares y dispositivos de seguridad deben estar sujetos a programas de revisión, mantenimiento y calibración.
3. El punto de ajustes de los dispositivos de seguridad, debe estar de acuerdo con los requisitos para la operación segura del equipo, conforme lo indica el manual de mantenimiento del generador.
4. los aparatos auxiliares de los generadores de vapor deben mantenerse en condiciones seguras de operación.
5. El desahogo de los fluidos a través de las válvulas de seguridad, debe dirigirse a un lugar donde no dañe a las personas ni al área de trabajo.

#### 4.8.7 REGLAMENTACION

Para la utilización de un generador de vapor se deben cumplir con regulaciones, códigos, estándares, y especificaciones.

El diseño debe cumplir con ciertas características técnicas y de seguridad, establecidas en estos reglamentos.

Los códigos son reglas de diseño y operación del equipo, para asegurar el servicio y un manejo seguro. Generalmente son preparados por comité de expertos en manufactura, usuarios, reguladores, y técnicos profesionales en la materia, generalmente las regulaciones de gobierno son basadas en este tipo de códigos.

Los estándares son similares a los códigos, detallan requerimientos como clases de materiales o equipos. También definen un nivel mínimo de calidad, nomenclatura estandarizada, recomienda y prescribe reglas de procedimiento de diseño, instalación, operación, reparación y reemplazos.

Las especificaciones detallan características de un trabajo en particular. Proporcionan datos de cantidades y calidades de material, modos de fabricación y demás información que no es detallada en los dibujos. Las especificaciones son preparadas por el constructor y dirigidas al consumidor.

#### 4.8.8 NORMAS OFICIAL MEXICANA DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESION Y CALDERAS-FUNCIONAMIENTO-CONDICIONES DE SEGURIDAD.

La Norma Oficial Mexicana de recipientes sujetos a presión y calderas-funcionamiento-condiciones de seguridad (NOM-020-STPS.2016, de la secretaria del trabajo y previsión social) establece los requisitos mínimos de seguridad con la cual debe contar los generadores de vapor o recipientes sujetos a presión que se instalen en los centros de trabajo, para la previsión de riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

La norma solo rige en el territorio nacional y aplica a todos los centros de trabajo que utilicen este tipo de dispositivos. Dentro de las características que esta norma incluye son los campos de aplicación la cual se refiere a los tipos de generadores o recipientes a presión que cumplen con las variables que la norma indica, con sus respectivas excepciones.

Existe una referencia con otras normas, es decir, al consultar otros códigos que también pueden ser aplicables a los generadores o recipientes sujetos a presión, se identificarán puntos de seguridad similares. Para efectos de esta norma se hace referencia a algunos puntos que se deben ser verificados, en los puntos se encuentran:

1. Hablando de los elementos físicos, cualquier alteración, cambio o reemplazo al equipo que produzca el incremento de la temperatura o presión de trabajo diferente a la especificada en el diseño debe ser comprobado que no afectará la integridad del recipiente y posteriormente registrada.
2. Aparatos auxiliares o de control, que sirven para supervisar las variables de la operación del equipo, por ejemplo los indicadores de nivel, los controles de presión, entre otros. Dispositivos de seguridad, cualquier válvula de seguridad, válvula de alivio de presión o cualquier otro elemento diseñado para liberar presión en exceso.
3. Fluidos peligrosos son aquellas sustancias químicas que tienen tres tipos de riesgos, a la reactividad, a la inflamabilidad y a la salud, según lo establecido en la NOM-018-STPS (sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo).
4. La temperatura externa es la temperatura exterior de un equipo que puede provocar quemaduras a una persona.

## 4.9 ANALISIS DE RIESGOS

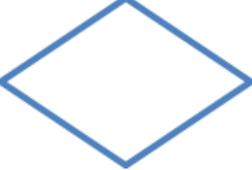
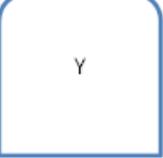
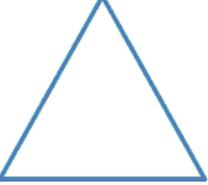
El análisis de riesgos es una disciplina que combina la evaluación del proceso desde el punto de vista de la ingeniería de procesos con técnicas matemáticas, que permiten realizar estimaciones de frecuencias/probabilidades y consecuencias de accidentes, los resultados del análisis de riesgos se utilizan para tomar decisiones.

### 4.9.1 ANALISIS DE ARBOLES DE FALLAS (FTA)

El análisis de árbol de fallas (FTA por sus siglas en inglés, Fault Tree Analysis) es una técnica cuantitativa de riesgos que nos proporciona la probabilidad o la frecuencia con que puede ocurrir un evento indeseable, que llamaremos evento culminante o escenario potencial de accidente. El evento culminante se puede dar mediante la culminación de fallas de un equipo, de sus componentes o fallas del operador. La probabilidad o frecuencia del evento culminante se determinan sumando las frecuencias o las probabilidades y multiplicando las probabilidades con probabilidades o las probabilidades con frecuencias pero nunca multiplicando las frecuencias con frecuencias.

El FTA puede ser usado durante el diseño, modificación, operación, o mantenimiento de instalaciones. Puede ser de especial utilidad en el análisis de procesos nuevos o desconocidos de los cuales no existe historia, pero existe base de datos confiable de otras instalaciones similares. Tabla 5

Tabla 5. Simbología para la elaboración de un árbol de fallas

| SIMBOLO   | APLICACIÓN  |
|---|---|
|    | <p>Rectángulo: Representa el evento negativo y se localiza en el punto superior del árbol y puede localizarse por todo el árbol para indicar otros eventos que pueden dividirse más.</p>  |
|    | <p>Círculo: Representa un evento base en el árbol, estos se encuentran en los niveles inferiores del árbol y no requieren más desarrollo o divisiones.</p>  |
|    | <p>El diamante: identifica un evento terminal sin desarrollar. Tal evento es uno no completamente desarrollado debido a una falta de información o significancia.</p>   |
|   | <p><b>Puerta O</b> : representa una situación en la cual cualquier de los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) llevarán al evento mostrado arriba de la puerta (evento de resultado).</p>                  |
|  | <p><b>Puerta Y</b> : representa una condición en la cual todos los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) tiene que estar presentes para que ocurra el evento arriba de la puerta (evento de resultado).</p> |
|  | <p>El triángulo: significa una transferencia de una rama del árbol de fallas a otro lugar del árbol.</p>  |

“Fuente: elaboración propia”

## CAPITULO V

### METODOLOGIA

#### 5.1 DATOS DE PLACA

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| MARCA                     | PIMMSA                |
| Modelo                    | CPH3-50               |
| Potencia de salida        | 421775 Kcal/hr        |
| Presion de diseño         | 10 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Año de construccion       | 2000                  |
| Superficie de calefaccion | 25.29 m <sup>2</sup>  |
|                           |                       |

“Fuente: elaboración propia”

Tabla 6 Datos de placa de caldera marca PIMMSA

#### 5.2 DESCRIPCION DE LA CALDERA

- a) QUEMADOR BAJO NO<sub>x</sub>. bajo emision de gases y alta eficiencia
- b) TABLERO DE CONTROL.
- constituido con lamparas indicadoras, interruptores, alarma sonora, tablilla de conexiones y demas equipo para el funcionamiento automatico de la caldera.
- c) MANOMETRO DE VAPOR. indica la presion interna de la caldera
- d) COLUMNA DE NIVEL. incluye indicador del nivel de agua, valvulas del indicador y grifos de prueba.
- e) VALVULAS DE SEGURIDAD. seleccionadas de acuerdo al tamaño de la caldera y su presion de diseño.
- f) CONCRETO REFRACTARIO. para alta temperatura
- g) PUERTAS. (delanteray trasera) abisagradas para facilitar el mantenimiento
- h) AISLANTE TERMICO. de vibra de vidrio, para evitar perdidas de calor.
- i) CUBIERTA DE ACERO INOXIDABLE LIBRE DE MANTENIMIENTO. da mayor proteccion y tiempo de vida al equipo
- VALVULAS DE PURGA para drenar sedimentos

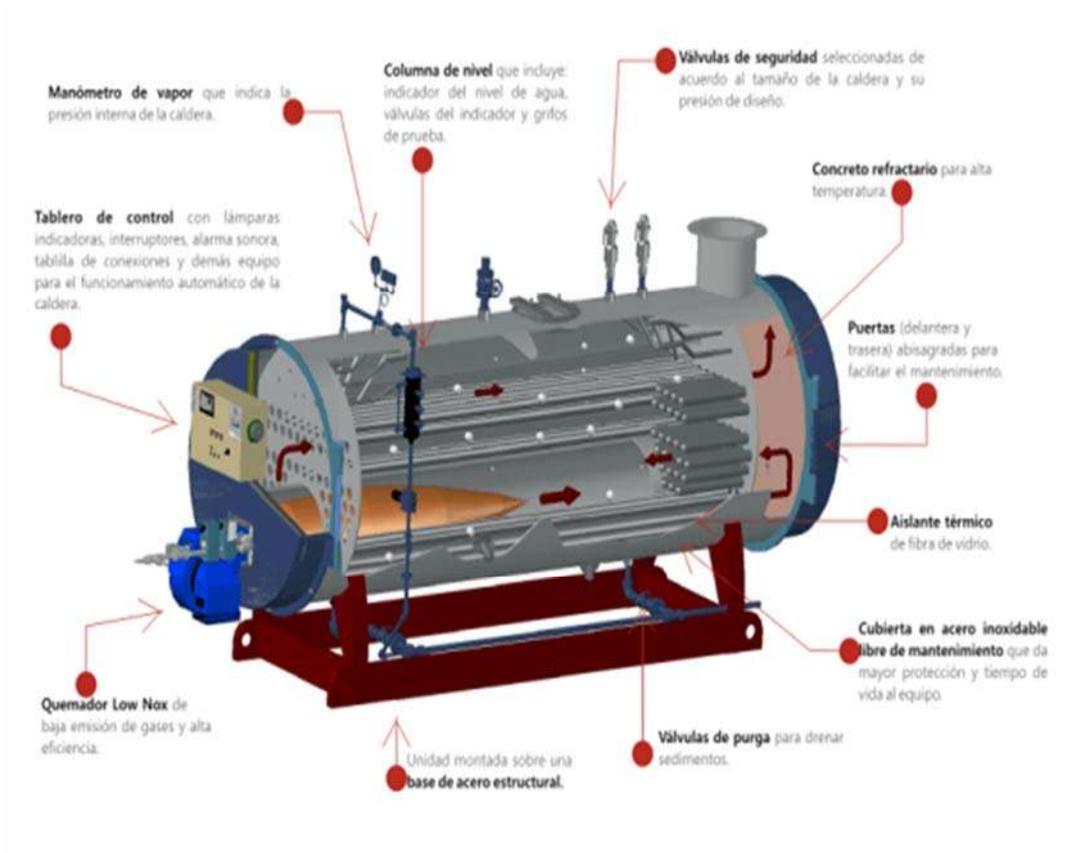
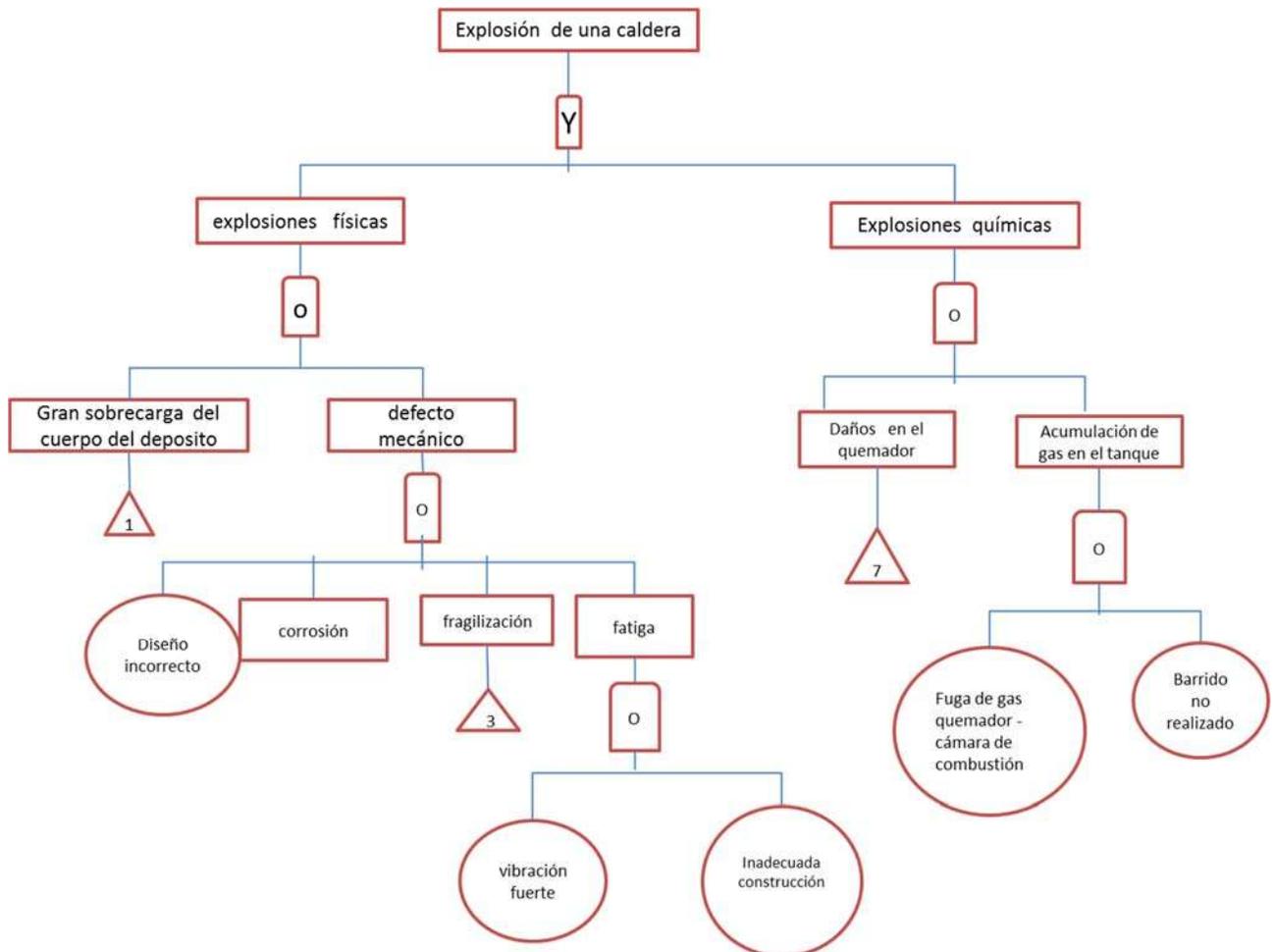


Fig 16 partes de una caldera marca PIMMSA

### 5.3 ELABORACION Y APLICACIÓN CUALITATIVA DE ARBOL DE FALLAS PARA UNA CALDERA PIROTUBULAR

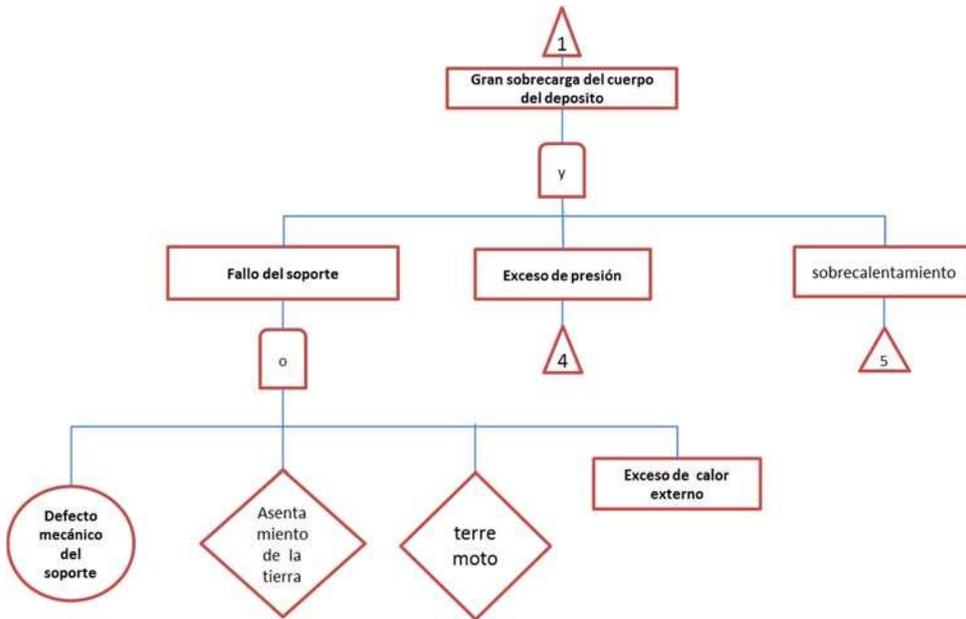
- a) Explosión de una caldera
- b) Sobrecarga del cuerpo del deposito
- c) Corrosion
- d) Fragilizacion
- e) Exceso de presion
- f) Sobrecalentamiento
- g) Exceso de liquido
- h) daños en el quemador

a) Explosión de una caldera



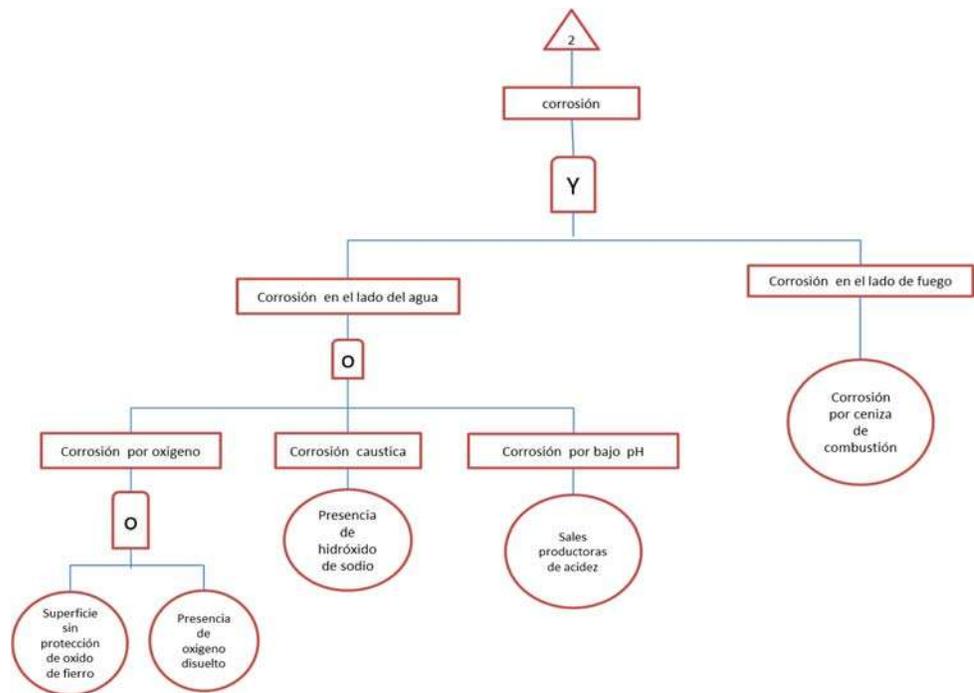
“Fuente: elaboración propia”

b) Sobrecarga del cuerpo del deposito



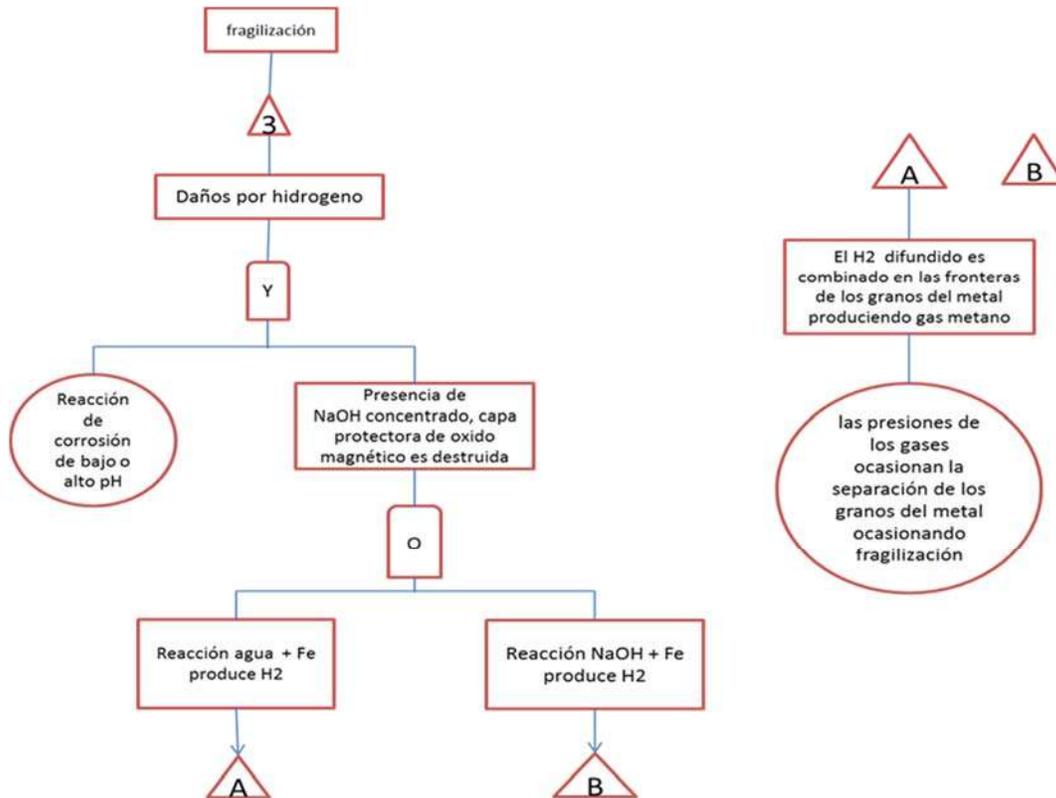
“Fuente: elaboración propia”

c) Corrosion



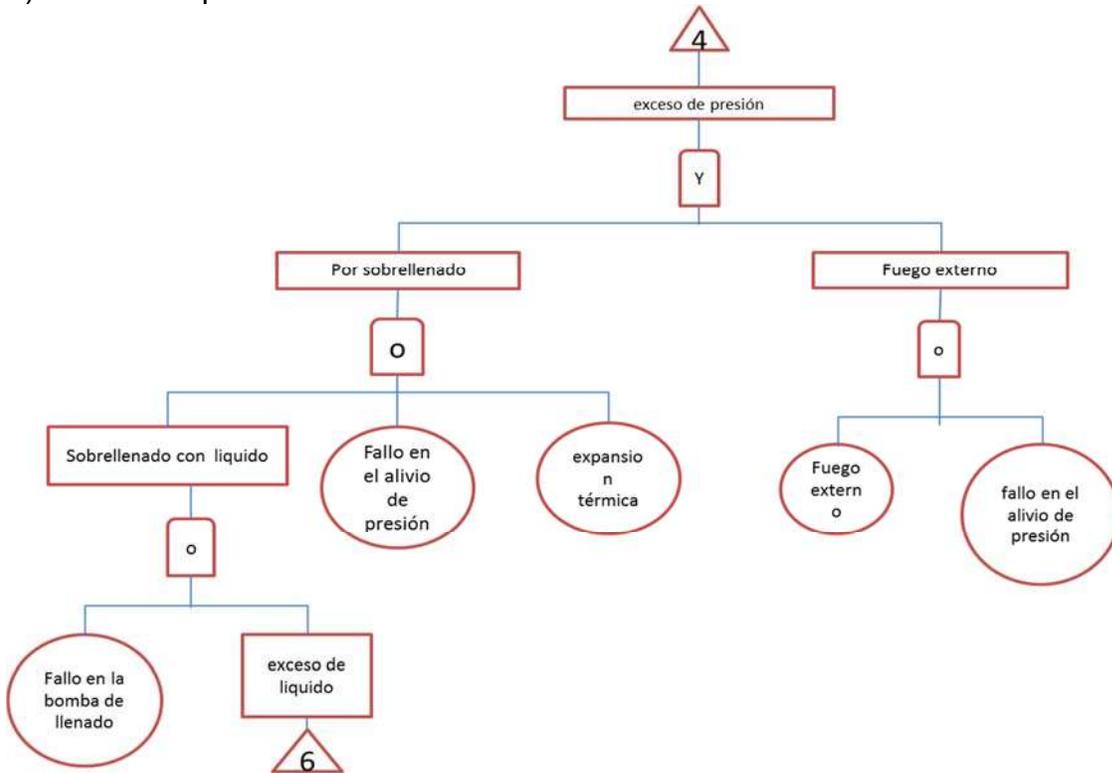
“Fuente: elaboración propia”

d) Fragilización



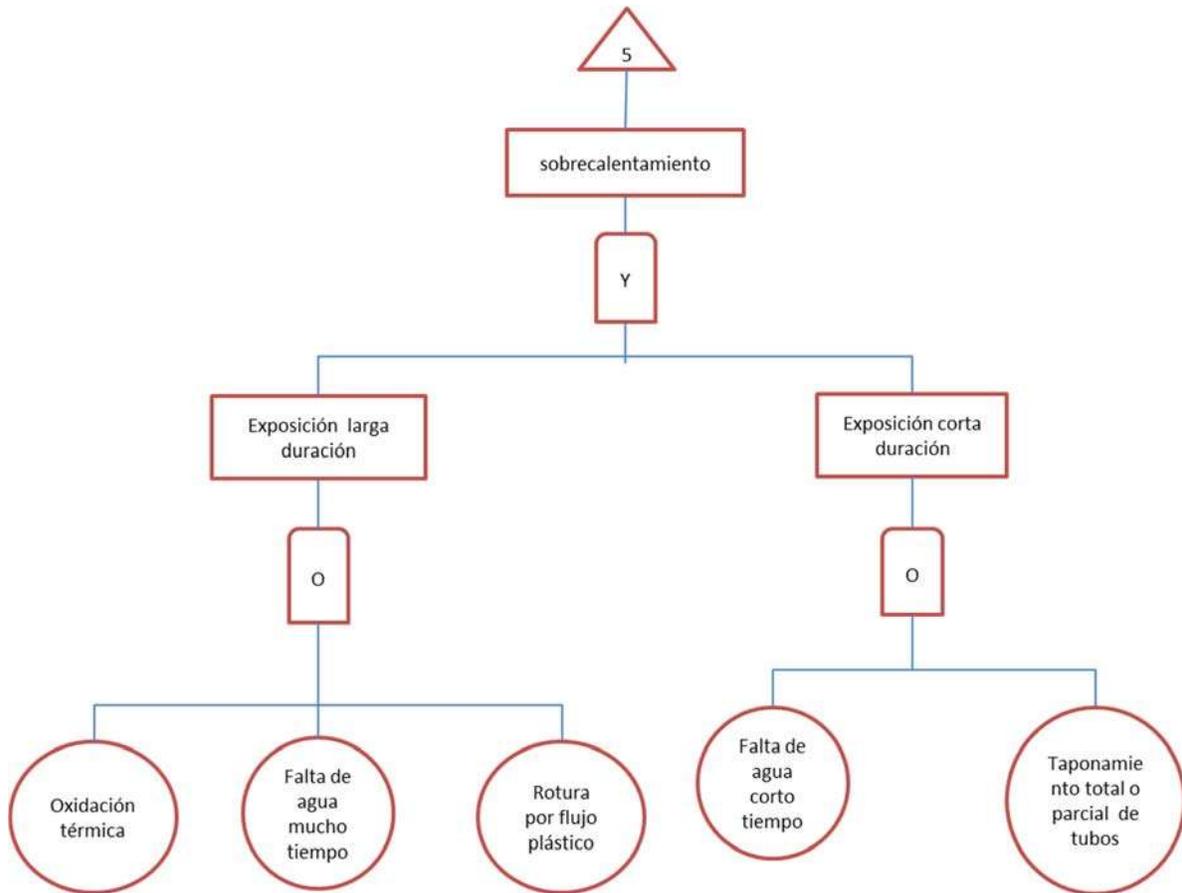
“Fuente: elaboración propia”

e) Exceso de presión



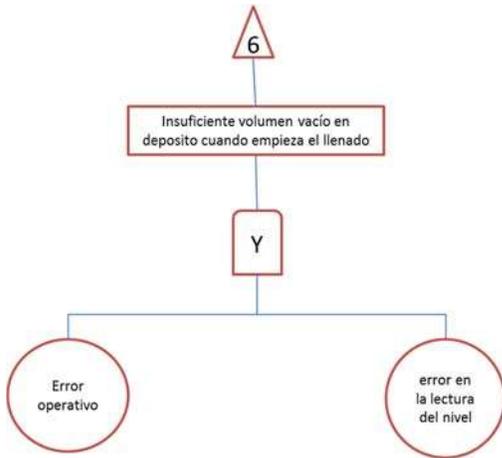
“Fuente: elaboración propia”

f) Sobrecalentamiento



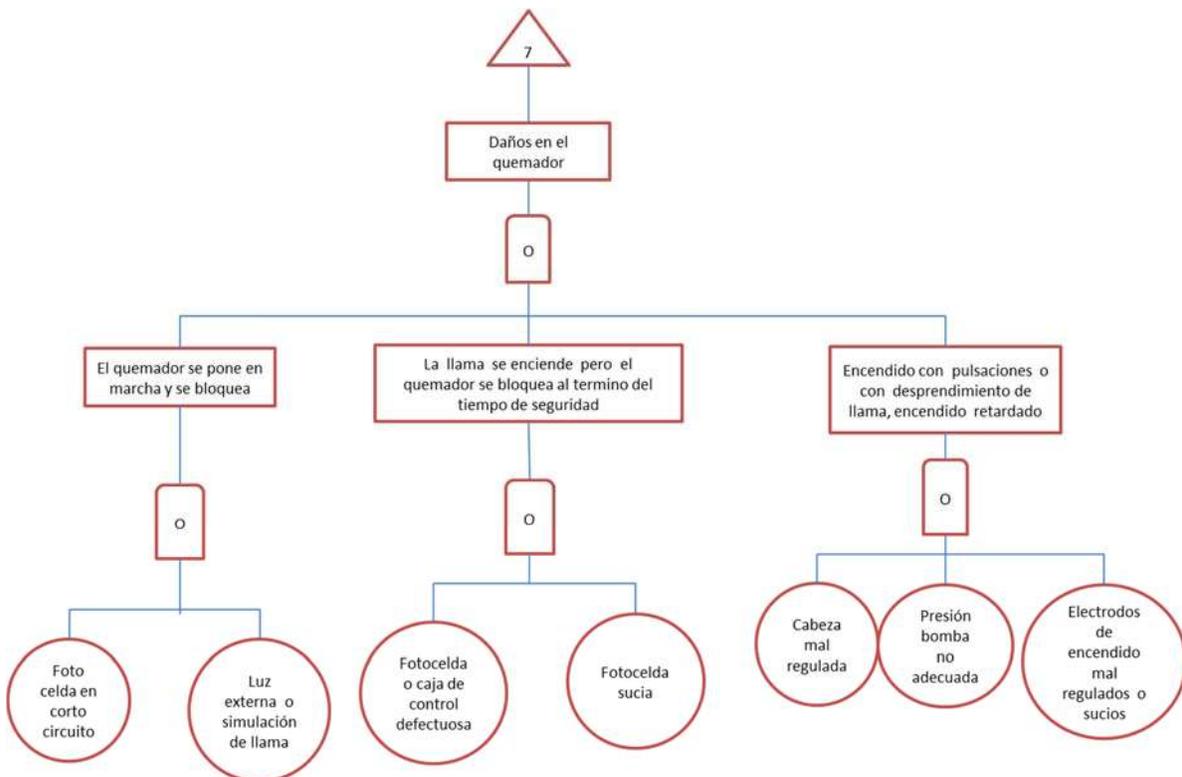
“Fuente: elaboración propia”

g) Exceso de liquido



“Fuente: elaboración propia”

h) daños en el quemador



“Fuente: elaboración propia”

## CONCLUSIONES

- El presente trabajo demuestra que realizar un análisis árbol de fallas ayuda a la resolución rápida a posibles fallos de la caldera.
- Con una buena regulación tanto del oxígeno como del gas para el funcionamiento del quemador se obtiene: buena combustión, temperaturas óptimas de trabajo en un menor tiempo evitando pérdidas de calor en todo el horno para obtener un producto de buena calidad.
- Con las frecuencias y procedimientos de mantenimiento adecuados se alcanza un correcto funcionamiento del quemador, aumenta la vida útil del equipo y reduce los tiempos de paro.
- Si se realiza un árbol de fallas para cada componente de la caldera facilita un rápido análisis para encontrar las raíces de posibles fallos del equipo.
- Un plan de mantenimiento preventivo alarga la vida útil de la caldera reduciendo paros imprevistos en la producción,
- La ineficiencia energética de las calderas provoca una cantidad adicional de emisiones de sustancias contaminantes al medio ambiente.
- Las bajas alturas de las chimeneas de las calderas producen valores más altos de concentraciones, de las sustancias contaminantes del medio ambiente, en las zonas aledañas a estas instalaciones.

## RECOMENDACIONES

- Deben tomarse las medidas necesarias para aumentar la eficiencia energética de las calderas y disminuir con ello las emisiones de sustancias contaminantes al medio ambiente.
- Deben aumentarse las alturas de las chimeneas de las calderas, para disminuir los contaminantes del medio.
- Deben realizarse programas de mantenimiento bien diseñados.
- Colocación de señalamientos de seguridad en el área de calderas.
- El encargado de dar mantenimiento a la caldera debe ser un profesional, especializado y además debe estar actualizando tomando cursos periódicamente para lograr un mejor resultado tanto en producción como en seguridad del personal de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.redalyc.org/pdf/120/12021450004.pdf>.  
<http://www.prevensystem.com/internacional/520/noticia-la-importancia-del-compromiso-con-el-analisis>.  
<https://www.youtube.com/watch?v=byRAtaPWWP8>.  
[https://www.researchgate.net/publication/2869294Causa\\_de\\_Fallas\\_en\\_Calderas](https://www.researchgate.net/publication/2869294Causa_de_Fallas_en_Calderas)  
 Servando A. Alzati combustión de hidrogeno, nitrógeno, carbono aire  
 Calderas de vapor pág. 73.  
<https://es.slideshare.net/joseantoniosanchezmarin56/potencia-y-rendimiento-de-la-caldera>.  
<https://www.youtube.com/watch?v=m5-IKN8MmG8.5>  
<http://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/pirotubulares>.  
 Graham&Trutman the boiler operators hand book second edition.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181322792006.pdf>.  
[http://www.catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/bonilla\\_m\\_jc/capitulo9.pdf](http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/bonilla_m_jc/capitulo9.pdf).  
<http://www.srt.gob.ar/index.php/investigacion-de-accidentes-metodo-del-arbol-de-causas>.
- <https://www.mundocalor.net/empresa.html> Empresa de calderas Madrid.  
<http://calderasintesa.com/> CALDERAS INTESA  
<http://www.calderaspimmsa.com.mx>  
[http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C\\_Rankine\\_MBE.pdf](http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C_Rankine_MBE.pdf) Martín  
 Bárcenas.  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m7/Practicas\\_termo\\_revisadas.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m7/Practicas_termo_revisadas.pdf)  
<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>.  
<http://www.europages.es/empresas/calderas%20pirotubulares.html>  
<https://www.mundocalor.net/empresa.html> Empresa de calderas Madrid.  
<http://calderasintesa.com/> CALDERAS INTESA  
<http://www.calderaspimmsa.com.mx>  
[http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C\\_Rankine\\_MBE.pdf](http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C_Rankine_MBE.pdf) Martín  
 Bárcenas.  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m7/Practicas\\_termo\\_revisadas.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m7/Practicas_termo_revisadas.pdf)  
<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>