

REINGENIERÍA Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA
PIROTUBULAR DIDÁCTICA PARA LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS
LIBERTADORES

LUIS BELTRÁN VARELA
JOSÉ IGNACIO GUZMÁN CONTRERAS
MICHAEL ANDRÉS TOQUICA RODRÍGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C
2011

REINGENIERÍA Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA
PIROTUBULAR DIDÁCTICA PARA LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS
LIBERTADORES

LUIS BELTRÁN VARELA
JOSÉ IGNACIO GUZMÁN CONTRERAS
MICHAEL ANDRÉS TOQUICA RODRÍGUEZ

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Mecánica.

Asesor
CLAUDIO ALBERTO MORENO ARIAS.
Jefe de Área FT

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C
2011

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C. Noviembre de 2011

Dedicamos este trabajo a Dios y a nuestras familias que durante el transcurso de la carrera nos apoyaron y nos motivaron a seguir adelante para alcanzar nuestras metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar el camino que nos llevo a culminar esta meta y a nuestras familias por que en cada momento tuvieron una palabra de aliento para seguir adelante y no desistir en este arduo camino que recorrimos y compartimos con alegrías y tristezas pero ante todo con un gran compromiso.

A Claudio Alberto Moreno Arias, director de proyecto, porque sin su apoyo y asesoría este sueño no sería posible.

A cada uno de los profesores que nos ayudo a formar y crecer tanto personal como profesionalmente.

A nuestros amigos, compañeros y conocidos por todos los momentos compartidos.

Gracias por creer en nosotros.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	8
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	10
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL:	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	16
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	18
4. MARCO DE REFERENCIA	22
4.1 DEFINICIÓN DE CALDERA:	22
4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS	23
4.3 PARTES DE UNA CALDERA:	23
4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES:	24
5. SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO	26
5.1 DESARME DE LA CALDERA	26
6. ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO.....	35
6.1 MATERIAL.....	35
6.2 ESPESOR DE CUERPO Y PLACAS.....	36

6.3 FIJACIÓN DE LAS TAPAS.....	37
6.4 PRESIÓN ADMISIBLE EN LOS TUBOS.....	38
6.5 FIJACIÓN DE LOS TUBOS.....	42
6.6 HOGAR.....	43
6.7 MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE EN LAS TAPAS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	44
6.8 TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.....	45
7. REINGENIERÍA.....	46
8. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS SISTEMAS.....	56
8.1 DEMANDA DE VAPOR.....	56
8.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA.....	61
8.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	65
8.4 SISTEMA ELÉCTRICO.....	71
9. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	74
10 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	77
10. PRACTICAS ACADÉMICAS.....	78
11. CONCLUSIONES.....	79
12. RECOMENDACIONES.....	81
13. BIBLIOGRAFÍA.....	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Listado de elementos que actualmente se encuentran en la caldera	27
Tabla 2. Composición química acero A-53	35
Tabla 3. Resultado espectrometría de emisión óptica al vacío	36
Tabla 4. Tamaños preferidos y números de Renard (Serie R) (Cuando pueda elegir, use uno de estos tamaños; sin embargo, no todas las partes o artículos están disponibles en todos los tamaños que se muestran en la tabla)	48
Tabla 5. Diámetros y áreas de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF*	50
Tabla 6. Parámetros de rigidez de varios materiales.	52
Tabla 7. Especificaciones SAE para pernos de acero	53
Tabla 8. Relación costos cuerpo de la caldera	74
Tabla 9. Relación costos de equipo y accesorios complementarios.	74

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafico 1. Relación L/D_0 vs D_0/t	39
Grafico 2. Tabla de materiales	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Problemas en el sistema de alimentación de agua.	19
Figura 2. Problemas en el sistema de combustible	20
Figura 3. Deficiencias en la tapa superior de la caldera	29
Figura 4. Deficiencias en la tapa inferior de la caldera	30
Figura 5. Estado actual del quemador	31
Figura 6. Control de nivel automático	32
Figura 7. Presostato	33
Figura 8. Programador	33
Figura 9. Fijación de las tapas	37
Figura 10. Fijación de los tubos	42
Figura 11. Dimensiones Tanque de Almacenamiento	62
Figura 12. Forma de instalación tanque	62
Figura 13. Tanque de Precalentamiento	64
Figura 14. Tanque de combustible	67
Figura 15. Conjunto bombín – filtro de combustible	68
Figura 16. Boquilla de combustible – electrodos	69
Figura 17. Difusor	70
Figura 18. Funcionamiento del quemador actual	70
Figura 19. Ensamble de Caldera.	73

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Planos de construcción
- Anexo B. Manual de operación
- Anexo C. Manual de Mantenimiento
- Anexo D. Practicas Académicas

GLOSARIO

Es importante dominar algunos términos indispensables en el uso de las calderas, a continuación se dan a conocer los más importantes:¹

BRIDA: Anillo plano, roscado o soldado, a los extremos de un tubo, que permite el acoplamiento entre dos secciones de tubería.

BOILER HORSE POWER (BHP): Evaporación de 15648gr. de agua por hora, desde una temperatura de 100°C en vapor saturado seco a la misma temperatura. Equivalente a 35314.83KJ

CALDERA: Recipiente hermético que se utiliza para la generación de vapor de agua, agua caliente o aceite térmico, mediante la absorción del calor liberado en la quema de un combustible o de elementos eléctricos.

CALDERA PIROTUBULAR: Caldera en la cual los gases de combustión fluyen por dentro de los tubos, los cuales están totalmente sumergidos en agua contenida en el recipiente hermético o vasija de presión de la caldera.

CARCASA: Parte metálica externa y cilíndrica de un recipiente de presión.

CÓDIGO: Conjunto de reglas técnicas en el cual está basado el diseño y construcción de los equipos a presión.

CORROSIÓN: Pérdida de metal en una parte de la caldera debida a la acción química de H₂, O₂, CO₂, en agua fuertemente ácida o alcalina.

¹Reglamento técnico de calderas para Colombia.

DISPOSITIVO DE CONTROL Y SEGURIDAD: Cualquier dispositivo manual o automático que se utiliza para la regulación de una máquina, con el fin de mantenerla en condiciones normales y seguras de operación. Si es automático, el dispositivo actúa según las señales de temperatura, presión, nivel de agua, tiempo, luz, u otra variable de funcionamiento.

DUREZA: Es una medida de la cantidad de sales de calcio y magnesio en el agua de la caldera. Normalmente se expresa en ppm de CaCO_3 .

HOGAR DE COMBUSTIÓN: Hace referencia a la cámara de combustión de la caldera.

INCRUSTACIÓN: Capa dura de material químico que se adhiere sobre las superficies internas de las partes de presión de una caldera.

MANÓMETRO: Instrumento con el cual se mide la presión producida por el vapor de agua u otro fluido contenido en un recipiente cerrado.

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: Libro en el cual se especifican todos los procedimientos e instrucciones operativas del equipo que debe seguir el operador en condiciones de operación normal o de emergencia, además contiene instrucciones precisas sobre repuestos.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A continuación se muestra la nomenclatura usada en este trabajo:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
A	Factor determinado a partir de la figura G y utilizado para hallar B.
A	Área.
B	Factor determinado a partir de la tabla de materiales aplicable en la sección II parte D.
C	Factor adimensional que depende del método de fijación, este valor tiene un rango para placas circulares de 0.33-0.20, tomando para el equipo actual 0.20.
d_p	Diámetro de la placa plana.
\varnothing_d	Diámetro interno de los tubos.
D	Distancia horizontal mínima entre centros.
D_o	Diámetro exterior.
E	Modulo de elasticidad del material.
f	Fuerza.
L	Longitud.
L_t	Longitud parte roscada del tornillo.
/	Agarre.
P	Máxima presión de trabajo admisible; Para el equipo actual se toma 40 psi que es el valor de apertura de la válvula de alivio ya que la placa tendrá que soportar como mínimo estas condiciones.
S	Valor del esfuerzo admisible tomado de la tabla 1 A sección II parte D de la norma, Para un material SA- 285 se tiene un valor de 12890.5 psi.
t	Espesor mínimo.
N	Numero de pernos.
C_1	Constante de rigidez.

n	Factor de carga de 1.8.
A_t	Esfuerzo de tensión.
S_p	Resistencia de prueba.
F_i	Fuerza de sujeción.
t_s	Espesor mínimo del cuerpo.
W	Distancia de la lámina tubular a la lámina de la cámara de combustión opuesta.

RESUMEN

Mejorar los espacios para el desarrollo de prácticas académicas es un aspecto importante en la Fundación Universitaria Los Libertadores; ante este requerimiento se determinó la necesidad de poner en funcionamiento la caldera pirotubular que se encuentra allí, para realizar prácticas académicas.

Se ejecutó la reingeniería del equipo aplicando los requerimientos de diseño que exige la norma ASME, con el fin generar la guía de operación, el instructivo de prácticas y el manual de mantenimiento.

Términos Clave:

- Caldera
- Reingeniería
- Prácticas
- Guía
- Manual

INTRODUCCIÓN

A través de la historia el hombre ha visto la necesidad de transformar sus medios de trabajo para minimizar o remplazar la mano de obra humana y animal, aumentar la producción y reducir los costos de fabricación.

Durante la revolución industrial se volvió indispensable la creación elementos y maquinarias para el aprovechamiento del vapor en los diferentes tipos de industrias, se creó una máquina de vapor, que con el tiempo y la evolución hoy conocemos como calderas.

Las calderas absorben el calor desprendido en la combustión para poder generar un cambio de fase de líquido a gaseoso en el fluido que se almacena al interior de éstas, en donde se hace de gran importancia que el diseño preliminar a la construcción del equipo se realice con base a los requerimientos exigidos por las normas existentes, ya que al manipular altos rangos de presión y temperatura el material dispuesto para tal fin debe soportar estas características para que no se generen problemas que interrumpan el correcto funcionamiento del equipo.

Para dar solución a la problemática anterior se crea un grupo de trabajo que realice la reingeniería necesaria en el equipo actual, en donde se determine si los elementos que conforman la caldera se ajustan a los requerimientos de la norma ASME, aplicando las mejoras de diseño que sean necesarias.

Por otro lado se busca la aplicación de elementos que permiten que los sistemas de alimentación de agua, combustible y eléctrico funcionen de tal manera que no generen riesgos que ocasionen accidentes eléctricos, químicos, entre otros que afecten a las personas que manipulan el equipo.

Posteriormente se plasman los manuales de mantenimiento y funcionamiento determinando las actividades que se deben seguir para garantizar el correcto funcionamiento del equipo y aumentar su vida útil, finalmente se crean las guías que permitan a los estudiantes aplicar los conocimientos obtenidos en termodinámica, transferencia de calor y fluidos, aunque es preciso aclarar que para una visualización total de los ciclos termodinámicos empleados en la industria es necesaria la ejecución de otros proyectos que mejoren la aplicabilidad del equipo.

1. JUSTIFICACIÓN

Por los beneficios económicos que posee la electricidad como fuente de alimentación energética debido al bajo costo por unidad generada frente a otros medios de producción de energía, el hombre ha creado tecnologías en las que aplican dispositivos eléctricos y electrónicos en la mayoría de los elementos que se utilizan en la actualidad para la realización de las actividades del diario vivir de las personas. Por tal razón, la demanda de esta ha aumentado en los últimos años en un gran porcentaje, lo que conlleva a generar mecanismos industriales con los que se puedan suplir estas necesidades.

Por tal motivo se hace indispensable como ingeniero mecánico tener conocimiento de las maquinas y herramientas que se manipulan en la actualidad, para poder ser profesionales competitivos en el mercado laboral.

El uso de las calderas es incluido en procesos industriales de fábricas de textiles, hospitales, producción de velas, tintorerías, lavanderías, restaurantes, hoteles entre otros.

Este proyecto no solo busca cumplir con un requisito para obtener un título de Ingeniero Mecánico, si no aplicar los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridas en el transcurso de la carrera, para realizar la reingeniería a una caldera que se encuentra en la Fundación Universitaria Los Libertadores, aprovechando los recursos suministrados por la misma para el desarrollo el proyecto y así brindar a los estudiantes distintas formas de capacitación en donde a través de guías se refuercen los conocimientos obtenidos en áreas como: termodinámica, transferencia de calor, maquinas térmicas, entre otras.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL:

Realizar un proceso de reingeniería que permita poner en funcionamiento la caldera pirotubular que se encuentra en la Fundación Universitaria Los Libertadores, con el fin de realizar prácticas académicas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Evaluar las consideraciones iniciales de diseño en la construcción del equipo actual con el fin de determinar las fallas que impiden el funcionamiento de la caldera.

Realizar los cálculos pertinentes que permitan rediseñar los sistemas necesarios para el accionamiento de la caldera.

Adaptar las piezas resultantes del proceso de cálculo – diseño de reingeniería a la caldera.

Poner en funcionamiento la caldera.

Elaborar los manuales de mantenimiento y de operación de la caldera.

Desarrollar prácticas académicas que permitan dar una aplicación a la caldera por parte de los estudiantes.

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nace de la necesidad que tiene la universidad de brindar a los estudiantes de los programas de Ingeniería Mecánica equipos y herramientas que permitan una exploración en los diferentes campos del conocimiento para que en su vida laboral sean fuentes de crecimiento industrial.

La Fundación Universitaria Los Libertadores cuenta en sus instalaciones con una caldera pirotubular que serviría de apoyo en las asignaturas relacionadas con los termo-fluidos, al realizar actividades académicas en donde se pueda poner en práctica los conocimientos teóricos obtenidos; pero que por su mal manejo, y por el poco mantenimiento que se le realizado al equipo no presenta buenas condiciones de funcionamiento, en donde los sistemas de combustible, alimentación y eléctrico, necesarios para el accionamiento del mismo, presentan deficiencias, que al ser manipuladas pueden llegar a ser causantes de accidentes sobre las personas que los operan.

Lo que conlleva a realizar una serie de actividades que permitan poner en óptimas condiciones la caldera pirotubular con el propósito de crear una nueva herramienta con la que los estudiantes y profesores puedan hacer prácticas en materias relacionadas con la parte térmica y de fluidos, mejorando el nivel académico de la universidad.

3.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Al realizar una inspección visual, se analizan los sistemas con los que cuenta actualmente el equipo, con el fin de determinar los posibles factores que impiden un correcto funcionamiento de la caldera.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN: Se determinó que el equipo no cuenta con un adecuado tratamiento del agua, esta es tomada directamente de la red que proporciona la empresa de acueducto y alcantarillado, en consecuencia el líquido puede generar algunos problemas en el correcto funcionamiento de la caldera, los cuales serán mencionados a continuación:

Al no realizar un tratamiento apropiado del agua, las partículas que se encuentran en suspensión dentro del líquido se pueden incrustar en las tuberías, generando un problema de eficiencia, esto disminuye considerablemente la conductividad térmica, por lo que se requiere ingresar al ciclo una mayor cantidad de energía, que en consecuencia genera un aumento en el consumo de combustible.

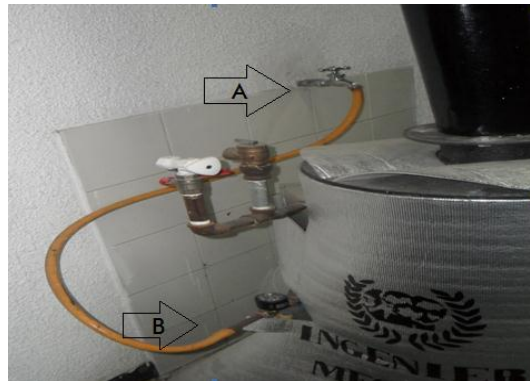
Estas partículas tienen un coeficiente de dilatación diferente al del acero con el que se encuentran hechos los tubos, por lo que al tener un aumento de temperatura considerable dentro del equipo se pueden generar fracturas conllevando a un accidente.

Por otro lado, el recorrido realizado por el agua desde la planta de tratamiento hasta las instalaciones de la universidad puede tener contacto con calcio, magnesio, cobre, hierro, sílice, entre otros; al ingresar estos elementos a la caldera pueden generar incrustaciones y corrosión, factores que intervienen tanto en el adecuado funcionamiento del equipo como en su vida útil.

Si el líquido ingresa directamente al equipo se pueden tener incrustaciones de aire dentro del fluido, por lo que las concentraciones de oxígeno dentro del

dispositivo serán altas, esto ocasiona un alto grado de oxidación, disminuyendo la efectividad del equipo.

Figura1. Problemas en el sistema de alimentación de agua.



Fuente: Autores

En donde: **A** es la Alimentación directa a la caldera y en **B** no existe un tratamiento en el agua de alimentación.

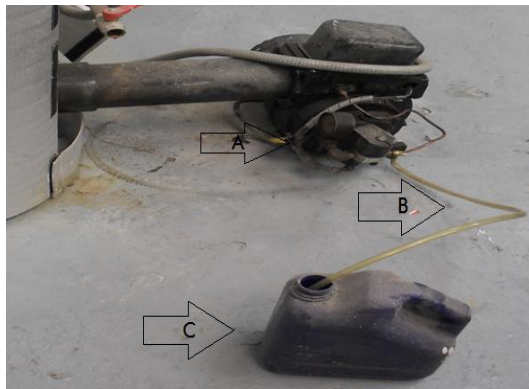
SISTEMA DE COMBUSTIÓN: Se estableció, que el equipo no cuenta con los elementos necesarios para un adecuado proceso de combustión, identificando que no posee un tanque de almacenamiento de combustible que presente las condiciones mínimas de seguridad, por lo que al manipular la caldera se pueden generar riesgos químicos que conlleven a un accidente.

Por otro lado al no tener hermeticidad en el tanque se puede correr el riesgo de que elementos como aire, agua, entre otros, estén en contacto con el combustible lo que genera cavitación al crearse un vacío en la succión, produciendo un daño en la estructura de la bomba; además no cuenta con líneas óptimas de abastecimiento de combustible, generando fugas que no permiten un buen funcionamiento.

Dado que el combustible (ACPM) que circula en el país es uno de los que presenta más contaminantes, no se cuenta con un sistema de filtrado, donde se puedan retirar todas aquellas partículas que puedan tapar la boquilla del quemador, ocasionando un problema en el proceso de combustión al tener una mezcla de baja calidad.

Así mismo, el quemador no cuenta con un mantenimiento que permita tener seguridad del perfecto estado de este, por lo que no se tiene certeza de que las cantidades de combustible y comburente sean las precisas para obtener una mezcla adecuada; además el instrumento que posee el quemador para una lectura de la presión en la bomba está deteriorado y sus datos pueden ser imprecisos.

Figura 2. Problemas en el sistema de combustible



Fuente: Autores

Se observa en **A** el mal estado del quemador y de sus elementos auxiliares, **B** son los ductos de alimentación no adecuados y en **C** no existe un tanque óptimo de almacenamiento.

SISTEMA ELÉCTRICO: Se encontraron las siguientes fallas: la caldera no cuenta con un punto fijo de alimentación, por lo que es necesario hacer una serie de

acoples con el fin de encenderla y teniendo en cuenta que este equipo es un instrumento en donde se manipularan líquidos se pueden generar riesgos eléctricos como cortos circuitos que pueden dañar la integridad física de la persona que la manipule.

La caldera no cuenta con elementos que permitan medir la temperatura a lo largo del proceso de evaporación con el fin de tener conocimiento del aumento de esta variable a lo largo del proceso, para poder relacionarlo posteriormente con los diagramas P-V y T-V usados frecuentemente en todos los procesos termodinámicos; no se cuenta con los elementos necesarios para la visualización de las variables que se generan en el proceso.

Actualmente para realizar las prácticas correspondientes el grupo de trabajo debe hacer una inspección visual, luego se procede con el llenado de la caldera hasta 2/3 del vidrio de nivel del equipo, con esto se elimina el riesgo de tener fallas por nivel mínimo de agua, se hace un suministro de combustible y una conexión a la red eléctrica de la universidad, para su posterior encendido. Se observa que los humos generados en la combustión se filtran por la parte inferior del equipo y el vidrio de nivel se torna de color negro teniendo en su interior partículas de corrosión, lo que supone una contaminación en los tubos internos de la caldera.

Cuando la Caldera es encendida funciona durante un (1) minuto, después de este lapso de tiempo se realiza un corte que apaga el equipo, con lo que se puede determinar que el equipo posee daños internos; por consiguiente es necesario realizar un desarme del elemento con el propósito de encontrar y dar solución a las fallas que impiden su correcto funcionamiento.

4. MARCO DE REFERENCIA

Para la ejecución de este trabajo es necesario investigar el material existente referente a las calderas, para aumentar el manejo del tema que lleve a una culminación exitosa del proyecto.

4.1 DEFINICIÓN DE CALDERA:

Existen diferentes definiciones de calderas, tomando cada concepto se puede realizar una definición propia para este término. A continuación se presentan algunas de ellas:

- Recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.²
- Máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.³
- Generador de vapor de fuego directo, el combustible utilizado puede ser líquido, gaseoso o sólido. La combustión tiene lugar fuera de la región de ebullición del agua, concretamente en el fogón o cámara de fuego.⁴

Con la información recolectada se puede establecer que: “Las calderas son equipos que permiten realizar un cambio de fase de un fluido líquido a vapor, al

²KOHAN, Antoni L. Manual de Calderas. España: Mc Graw Hill, 2000. P. 15

³ Colaboradores de Wikipedia. *Caldera (máquina)* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2011 [fecha de consulta: 11 de marzo del 2011]. Disponible en <[//es.wikipedia.org/w/index.php?title=Caldera_\(m%C3%A1quina\)&oldid=50432069](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Caldera_(m%C3%A1quina)&oldid=50432069)>.

⁴ ALVARES FLOREZ, Jesús Andrés, CALLEJON AGRAMUNT, Ismael. Maquinas Térmicas Motoras. España: Alfaomega, 2005. P. 384.

ingresar calor al sistema, manteniendo una presión constante al interior de la misma, en donde los combustibles usados pueden ser sólidos como el carbón, líquidos como el ACPM, y gaseosos como el gas natural”.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

Las calderas han clasificadas según la circulación de los gases, en donde actualmente se pueden encontrar dos tipos principales las pirotubulares y las acuaturbulares.

- Tipo pirotubular: La característica principal de este tipo de calderas es que los gases generados en la combustión pasan por el interior de los tubos calentando el fluido que se encuentra alrededor de estos. En este tipo de calderas se pueden encontrar dos disposiciones horizontales y verticales.
- Tipo acuaturbular: A diferencia de las pirotubulares el agua es el que se encuentra al interior de los tubos, los cuales son calentados por los gases de combustión que los rodean, en estos equipos se pueden encontrar disposiciones en los tubos rectos o curvos aportando en donde la eficiencia de la misma mejora con la utilización de estos últimos.

4.3 PARTES DE UNA CALDERA:

Dentro de las principales partes que componen una caldera se encuentran:

- Hogar: Región destinada para que se genere la combustión, allí se obtienen los gases utilizados para evaporar el agua.

- Chimenea: Elemento utilizado para que los gases que han pasado por la caldera salgan al ambiente
- Conducto de humos: Espacio de la caldera que se utiliza para que los gases que se generan en la combustión circulen por el interior del equipo.
- Caja de humos: Área donde se retienen los gases generados en la combustión, antes de pasar por la chimenea, con el fin de aprovechar en mayor medida el calor que aun poseen para calentar los espejos que sostienen los tubos o conductos de humos.
- Cámara de agua: Lugar en el cual se almacena el agua que debe ser evaporada; se hace necesario que esta permanezca entre ciertos límites para que no se generen problemas en el funcionamiento del equipo.
- Cámara de vapor: Sitio destinado para almacenar el vapor que se ha generado después de terminar el proceso de evaporación.

4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES:

Teniendo en cuenta que el proyecto de reingeniería se realizara en una caldera pirotubular se identificaran las ventajas y desventajas que tiene frente a las acuotubulares.

- Ventajas: Por su tamaño reducido son de fácil manejo, instalación rápida y sencilla, no necesita asentamientos especiales, su costo de fabricación es bajo, por otro lado el área requerida para obtener los caballos de vapor del equipo es mínima y soporta fluctuaciones en la demanda de vapor.
- Desventajas: Al no tener un fácil acceso al interior del equipo su mantenimiento es complicado, por su bajo contenido de agua se hace difícil

mantener una correcta presión en el vapor, el calor total generado en la combustión no es aprovechado en su totalidad ya que el recorrido que estos hacen por el interior de los tubos es demasiado corto.

5. SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO

Con el fin de determinar los elementos con los cuales cuenta el equipo actualmente, se hizo necesario realizar el desarme del mismo, en donde se vio la necesidad de transportar la caldera de las instalaciones de la fundación universitaria los libertadores, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Al encontrarse la caldera en una sede de la universidad que presenta alto flujo de estudiantes, se observó que al realizar las actividades propias del desarme se interrumpía la ejecución de las clases.
- El lugar al que será transportada la caldera permite tener un fácil acceso a la industria metalmecánica, tratamientos térmicos y químicos, instrumentación y mantenimiento, esto permite agilizar algunas labores importantes para la culminación del proyecto.
- El sitio destinado para la ejecución del desarme posee las máquinas, los instrumentos y los elementos que son requeridos para desmontar el equipo.

5.1 DESARME DE LA CALDERA

Para el desmonte de las piezas que conforman el equipo se realizó una serie de pasos para tal fin:

- Se separa el quemador y el tablero eléctrico, ya que estos elementos impiden tener una buena manipulación de las herramientas necesarias para el desarme de las partes que conforman la caldera.
- Se retiran todos los elementos utilizados con el fin de medir y controlar las variables de presión y temperatura que intervienen en el proceso de generación de vapor, tales como sensores de nivel, vidrio de nivel, sensor de presión de vapor, válvulas de paso, electroválvula y válvula de alivio.

- Se quitan las puertas que permiten tener acceso a las cámaras de combustión (hogar) y de humos, donde es posible observar el estado interno del equipo.
- Se retiran los elementos de sujeción (remaches) que adhieren la lámina de acero inoxidable a la estructura de la caldera, encontrando un recubrimiento de fibra de vidrio que funciona como aislante térmico.
- Finalmente se realiza un inventario en la tabla 1 que permita plasmar la cantidad de piezas que actualmente conforman la caldera pirotubular.

Tabla 1. Listado de elementos que actualmente se encuentran en la caldera.

CANTIDAD	ELEMENTO
1	Lamina acero inoxidable
1	Cuerpo de la caldera
1	Lamina de fibra de vidrio
1	Tapa superior de sellado
1	Tapa de sellado inferior
2	Tubos de lamina rolada para la chimenea
4	Codos de conectores de ½
1	Conexión en T
1	Válvula de alivio
2	Válvulas de paso
1	Vidrio de nivel
1	Válvula solenoide
3	Sensores de nivel
1	Quemador
1	Válvula check
1	Control de nivel automático
1	Presostato
1	Programador
1	Braker

Fuente: Autores

A continuación se relacionan las especificaciones y el estado actual de las piezas teniendo en cuenta la tabla 1:

- Lámina en acero inoxidable: Con dimensiones de (970 X 1120) mm utilizada para el recubrimiento externo de la caldera, la cual no se podrá utilizar ya que es necesario realizar modificaciones.
- Cuerpo de la caldera: Tiene un diámetro externo de 358 mm y uno interno de 340 mm, con lo que se puede determinar que el cuerpo tiene un espesor de 9 mm, cuenta con 9 ductos entre salidas y entradas con un diámetro nominal de 12.7 mm, en donde es visible una obstrucción por parte de los residuos generados en la soldadura, en su interior se encuentra soldado un conjunto conformado por dos placas de 340mm de diámetro externo y 9 mm de espesor; las cuales se encuentran unidas entre sí por 19 tubos con una longitud de 430 mm, diámetro exterior de 42.2mm e interior de 38.64mm, determinando que el grosor de pared del tubo es de 3.56mm.
- Lamina de fibra de vidrio: Tiene dimensiones de (970 X 1120 X 38.1)mm, se compone de papel aluminio, papel kraff y refuerzos de fibra de vidrio (FRK), el cual se encuentra en buen estado.
- Tapa Superior de Sellado: Con un diámetro de 409.6 mm y 6 mm de espesor, la cual requiere ser cambiada, pues no permite un buen aislamiento ya que posee un grado de pandeo que genera una luz, por el que se emanan los gases de escape al ambiente antes de pasar por la chimenea.

Figura 3. Deficiencias en la tapa superior de la caldera



Fuente: Autores

Como observa en la figura 3, la tapa presenta una curvatura y no se ajusta adecuadamente al cuerpo de la caldera; esto permite fugas de los gases de combustión.

- Tubos de Lamina Rolada Para Chimenea: Tienen dimensiones de (2200 X 3840) mm, con un calibre 48, los cuales no permiten una adecuada eliminación de los gases porno estar acoplados correctamente, esto ocasiona intercambios de energía con el ambiente, con lo cual se pierde temperatura en los mismos y se genera una disminución del tiro natural de la caldera.
- Tapa Inferior de Sellado: Con diámetro de 336.5 mm y un espesor de 6 mm, que no encaja adecuadamente en la carcasa de la caldera, en donde se tiene un juego de 3.2 mm por lo que se pierde eficiencia en la caldera al tener una transferencia de calor con el medio, además de permitir la fuga de los gases propios de la combustión, impidiendo que los espejos que se encuentran al interior de la misma obtengan la temperatura adecuada para la evaporación del agua.

Figura 4. Deficiencias en la tapa inferior de la caldera.



Fuente: Autores

En la figura 4 se observa que la tapa no ajusta adecuadamente, generando fugas de humos e inconvenientes en el funcionamiento del equipo.

- Válvula de alivio: Elemento con conexión de 7.5mm, que se activa cuando existen presiones superiores a 40 psi, para observar el buen funcionamiento se utiliza un compresor con una presión mayor que permite activarla, con lo que se puede determinar el buen estado de la válvula.
- Válvulas de Paso: Piezas fabricadas en latón cromado que resisten una presión de trabajo de 1.4 psi y una temperatura no mayor a 80 °C, se encuentran en malas condiciones ya que existen fugas por presentarse corrosión en su parte interna, impidiendo un buen sellamiento en el elemento lo genera fugas de agua.⁵
- Vidrio de nivel: Instrumento de medición normal, las 2 válvulas de cierre de seguridad y la válvula de purga no presentan ninguna anomalía, aunque es necesario realizar un mantenimiento preventivo, por otro lado no se observa

⁵www.tubocobre.net/productos_pdf/valv_varias_nibco.pdf

un empaque, que es necesario para asegurar el vidrio a las válvulas anteriormente nombradas, además es necesario remplazar este vidrio ya que se encuentra vencido.

- Válvula Solenoide: Este dispositivo se encuentra normalmente cerrado, opera a 110 voltios de corriente alterna, maneja un rango de temperatura de trabajo que va desde los 5°C hasta los 80°C y una presión máxima de trabajo de 63 psi; con el propósito de determinar el estado de la válvula se conecta el bobinado a la red eléctrica, a continuación se genera un flujo de agua que pasa por la válvula sin presentar goteo, por lo que se asume su correcto funcionamiento aunque es necesario realizar limpieza.
- Sensores de warrick de nivel: Estos elementos envían una señal que determina el nivel de agua con el que se encuentra la caldera, es así como se mide su resistencia, para posteriormente compararla con la que se genere al introducir el elemento en agua, observándose un aumento de esta con lo que establece el buen estado de estos elementos.
- Quemador: Permite disponer de una potencia de 70635.78 KJ⁶

Figura 5. Estado actual del quemador.



Fuente: Autores

⁶ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: Mc Graw Hill, 2007. P. Factores de conversión.

Como se observa en la figura 5, es necesario realizar un mantenimiento del equipo para determinar su estado, por lo que es enviado a un taller especializado.

- Válvula Check Universal 200 psi agua: Elemento hecho en bronce de 12.7mm roscado a ambos extremos, puede manejar una presión de trabajo de 200 psi y una temperatura no mayor a 180°C, presenta actualmente corrosión, por lo que es necesario realizar limpieza.⁷
- Control de Nivel Automático: Instrumento para agua de la marca KOINO con referencia KFSPC11, es una electro sonda para controlar el nivel en fluidos de agua con un voltaje de alimentación de 110 Voltios de corriente alterna, posee una resistencia de operación de 4 KΩ en un máximo de 15KΩ, trabaja con un rango de temperatura de -10 a 50 °C, en buenas condiciones.

Figura 6. Control de nivel automático



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

- Presostato: Instrumento con rosca de 6.35mm, es utilizado para todo tipo de gas que no sea combustible entre ellos aire y vapor, maneja un rango de

⁷www.tubocobre.net/productos_pdf/valv_varias_nibco.pdf

presión de 10 a 150 psi, con reseteo manual, se encuentra en buenas condiciones aunque se requiere de un mantenimiento preventivo.

Figura 7. Presostato



Fuente: <http://www.fotolog.com/pycimperium/68905599>

- Programador: Elemento de referencia R8184G que trabaja con voltaje de 110 voltios corriente alterna a una frecuencia de 60 Hz, en buenas condiciones.

Figura 8: Programador



Fuente: www.geniocomercial.com

Con la totalidad de las piezas se procede a realizar la limpieza y el mantenimiento de los elementos que lo requieran.

6. ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO

A continuación se realiza una evaluación del material y el diseño que se aplicó al equipo, con el fin de determinar si los elementos que actualmente se usan son los más apropiados o si es necesario aplicar mejoras.

6.1 MATERIAL.

Los tubos y partes sometidas a presión deben realizarse con los materiales que se encuentran en la norma, en donde uno de los materiales que se utiliza con más frecuencia es el acero A-53 el cual posee la composición química estipulada en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química acero A-53

Composición %	Tipo S		Tipo E		Tipo F
	Sin Costura		Soldada con resistencia eléctrica (ERW)		Soldada a Tope en alto horno
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B	Grado A
Carbono, Max	0.25	0.30	0.25	0.30	0.30
Magnesio	0.95	1.20	0.95	1.20	1.20
Fosforo, Max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Azufre, Max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cobre, Max	0.40	0.40	0.50	0.50	0.40
Níquel, Max	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cromo, Max	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, Max	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vanadio, Max	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/pipes/a-53>

Para determinar si el tipo de material con el que se encuentra construida la caldera se ajusta a los requerimientos de la norma, se retira una muestra rectangular de (20 X 40) mm, a la cual se le realiza una espectrometría de emisión óptica al vacío, en donde se obtiene la composición química mostrada en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado espectrometría de emisión óptica al vacío.

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr
%	0.1499	0.0126	0.8114	0.0073	0.0078	0.0010
Elemento	Ni	Cu	V	Nb	Mo	
%	0.0815	0.0164	0.0010	0.0310	0.0050	

Fuente: Sena centro de metalurgia

Los elementos que se encuentran en el material se ajustan a los exigidos por la norma, pues aunque el silicio y el niobio no se encuentran en el acero A-53 estos elementos mejoran las propiedades físicas del acero.

6.2 ESPESOR DE CUERPO Y PLACAS.

De forma general en la norma se establece un espesor mínimo de pared de 6mm para las placas expuestas a presión y para el cuerpo. Además de especificar las condiciones que se deben aplicar concretamente en tapas planas utilizando la siguiente relación matemática.⁸

$$t = d_p \times \sqrt{CP/S}$$

Reemplazando estos valores se obtiene:

⁸ PG. 16.3 Y PG. 31, EN: Reglas para la construcción de calderas de potencia. Código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión; p. 11, 24

$$t = 340 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{0.20 \times 40 \text{ psi}}{12890.5 \text{ psi}}}$$

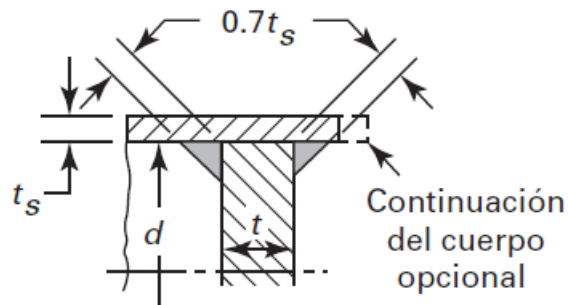
$$t = 8.4 \text{ mm}$$

Con lo anterior se puede determinar que la diferencia es mínima con PG-31, ya que se tiene actualmente un espesor de placa de 9mm que se ajusta a los requerimientos de la norma.

6.3 FIJACIÓN DE LAS TAPAS.

Se observa que el tipo de fijación que se utiliza para los espejos debe ser semejante a la siguiente figura:

Figura 9. Fijación de las tapas



Fuente: Norma ASME figura Pg-31

En el equipo actual se puede observar una unión entre el cuerpo y las tapas que se asemeja a la requerida por el código.

Si se cuenta con un espesor de cuerpo de 8mm, la garganta mínima de la soldadura sería:

$$7 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} = 5.6 \text{ mm}$$

En la actualidad se cuenta con 10.5mm de garganta en la soldadura que se aplicó en la unión de la placa y el cuerpo de la caldera cumpliendo con los requerimientos de la norma.

6.4 PRESIÓN ADMISIBLE EN LOS TUBOS.

Se debe calcular la presión de trabajo admisible de los tubos.⁹

En primer lugar se determina que procedimiento es el que se ajusta al equipo actual; para esto se observa si la relación D_0/t es mayor, menor o igual a 10.

$$42.2 \text{ mm} / 3.6 \text{ mm} = 11.72$$

Como la relación es mayor, se sigue el procedimiento descrito a continuación.

- Paso 1: Se determinan las relaciones L/D_0 y D_0/t

$$L/D_0 = 430 \text{ mm} / 42.2 \text{ mm} = 10.19$$

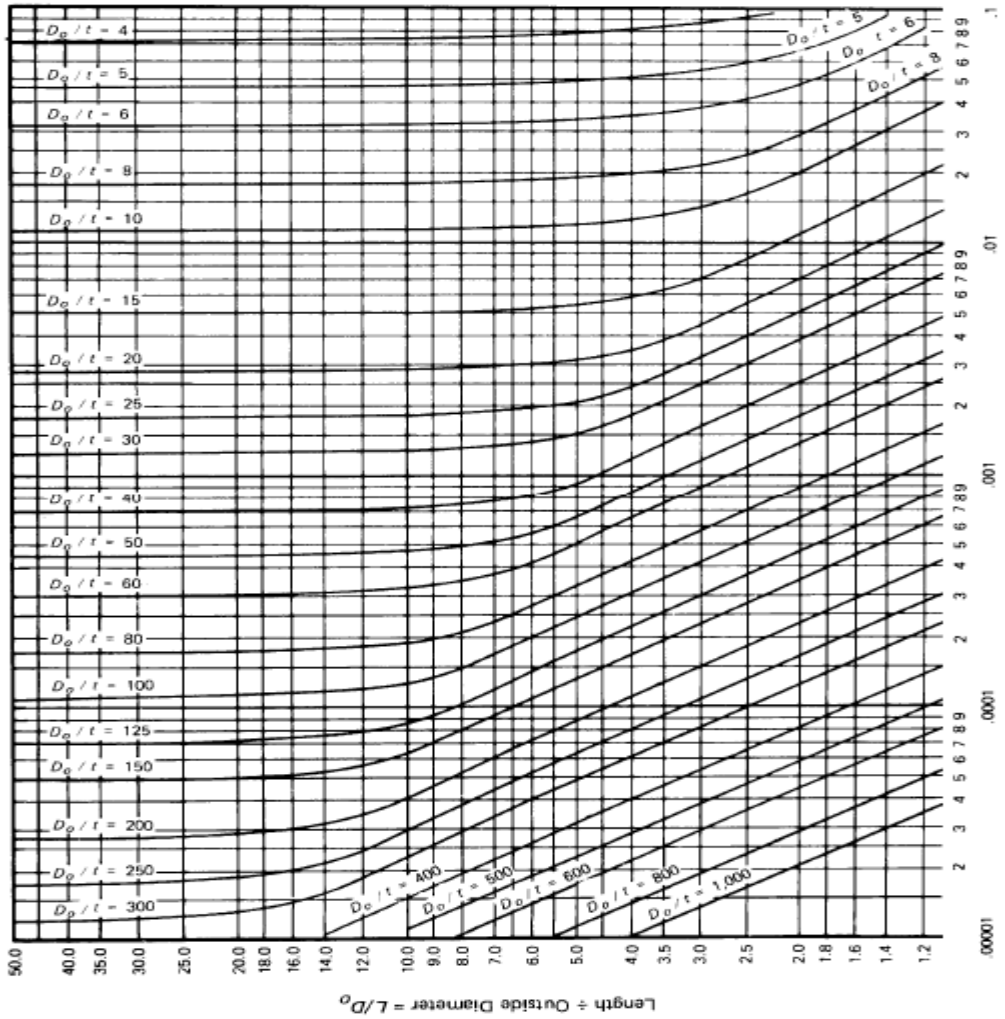
$$D_0/t = 42.2 \text{ mm} / 3.56 \text{ mm} = 11.85$$

- Paso 2: Con el valor obtenido de L/D_0 se ingresa en las siguientes figuras:

Grafico 1. Relación L/D_0 vs D_0/t

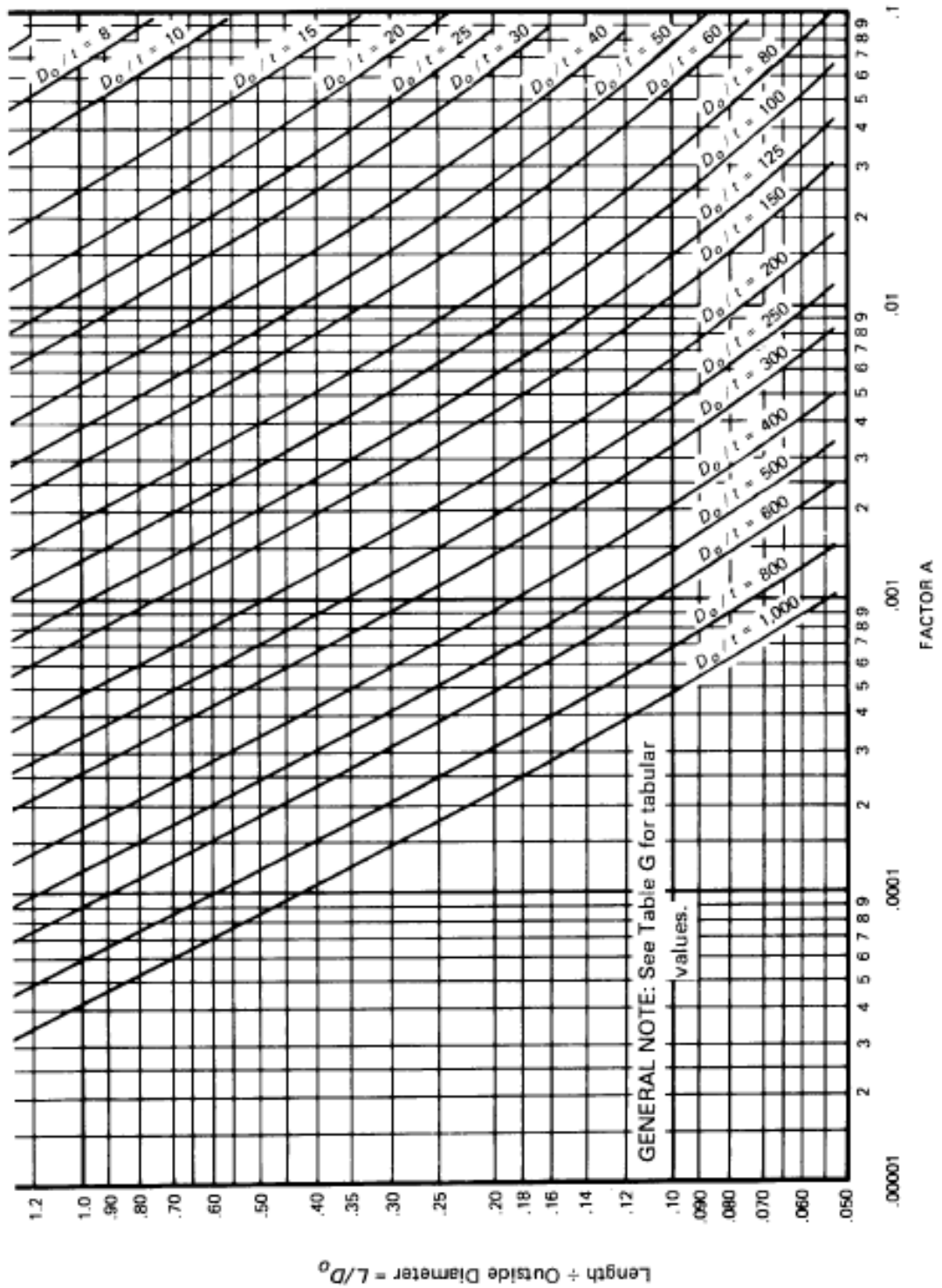
⁹PFT-12.1.1 y PFT-51, EN: Reglas para la construcción de calderas de potencia. Código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión; p. 149, 164

FIG. G GEOMETRIC CHART FOR COMPONENTS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (for All Materials)



Fuente: Norma ASME sección D parte II pág. 786

Grafico 1. Relación L/D_o vs D_o/t



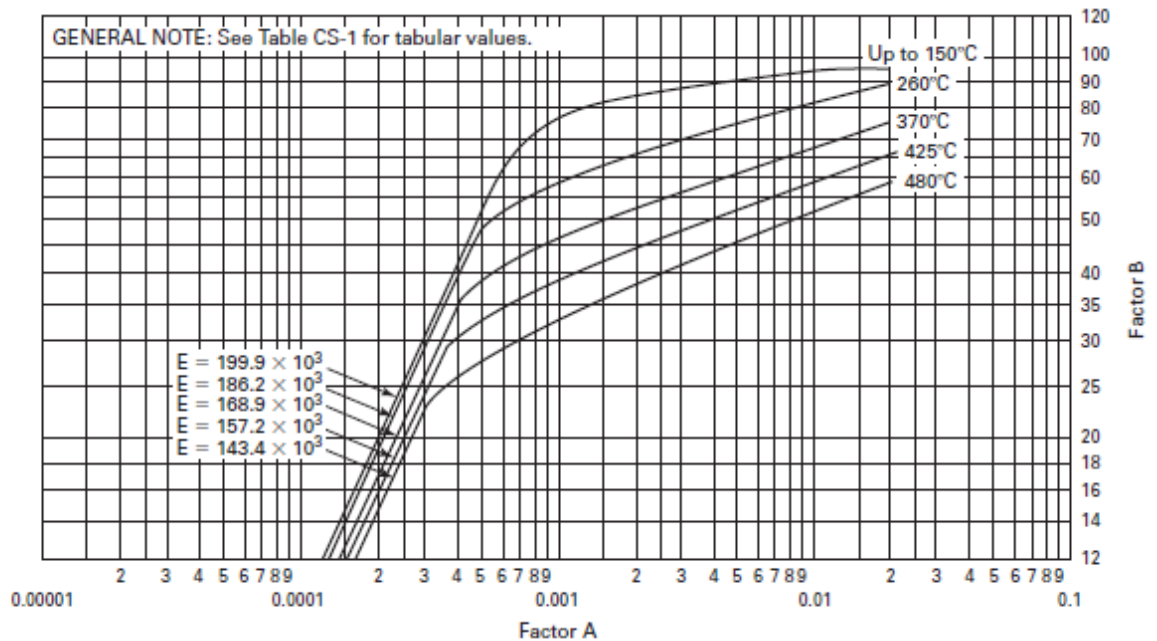
Fuente: Norma ASME sección D parte II pág. 787

- Paso 3: Se desplaza horizontalmente hacia el valor de D_o/t , determinado en el paso 1, a partir del punto de intersección se mueve verticalmente hacia

abajo para determinar el valor del factor A. Siguiendo el procedimiento anterior se obtiene un valor de $A=0.009$.

- Paso 4: Con el valor calculado de A se ingresa en la tabla de materiales interceptando este valor con una temperatura de 150°C y modulo de elasticidad 199.9×10^3 .

Grafico 2. Tabla de materiales



Fuente: Norma ASME sección D parte II pág. 788

- Paso 5: Con la intersección obtenida en el paso anterior se desplaza horizontalmente hacia la derecha obteniendo el valor de B, siendo este de 91 para un acero A53.
- Paso 6: Se determina el valor de Pa utilizando la siguiente ecuación:

$$Pa = \frac{4B}{3} \left(\frac{D_o}{t} \right)$$

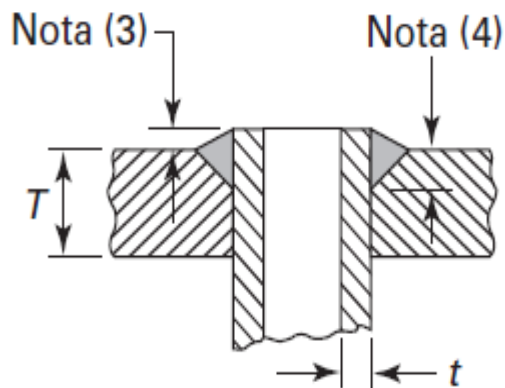
Remplazando para A53se obtienen un valor de 1485.19 psi.

Si se compara este valor con la presión de apertura de la válvula de alivio, que para este caso es de 40 psi, se observa que el material resiste satisfactoriamente la presión a la que va a estar expuesto el tubo.

6.5 FIJACIÓN DE LOS TUBOS.

La fijación de los tubos se debe realizar de acuerdo a la figura 10.

Figura 10. Fijación de los tubos.



Fuente: Norma ASME FIG PFT-12.2

Según la figura, 10 La nota (3) especifica que la altura de la soldadura no debe ser superior a el espesor del tubo, en el caso del equipo esta altura es de 2 mm y La nota (4) hace referencia a la altura del bisel, la cual no debe ser inferior a 3 mm, se asume que se aplicó el bisel en la construcción según la norma, ya que para su

comprobación sería necesario retirar la soldadura y volver a aplicarla, lo que generaría en el cuerpo de la caldera nuevos esfuerzos que irían debilitando la estructura aumentando la posibilidad de un accidente.

6.6 HOGAR.

Se establece que para un hogar circular liso se debe tener un espesor mínimo de 8mm, cumpliendo la caldera con este requerimiento.

Por otro lado se determina que la presión admisible de trabajo debe calcularse realizando el mismo procedimiento que se utilizó para determinar la presión admisible en los tubos, en donde se determina el procedimiento que se debe seguir observando si la relación D_0/t es mayor, menor o igual a 10.

$$344.55 \text{ mm} / 8 \text{ mm} = 43.07$$

Como la relación es mayor se utiliza el siguiente procedimiento

- Paso 1: Se determinan las relaciones L/D_0 y D_0/t

$$L/D_0 = 330 \text{ mm} / 344.55 \text{ mm} = 0.96$$

$$D_0/t = 344.55 \text{ mm} / 8 \text{ mm} = 43.07$$

- Paso 2: Para realizar este paso se utilizan las figuras 11 y 12 de este texto.
- Paso 3: Se desplaza horizontalmente hacia el valor de D_0/t , determinado en el paso 1, a partir del punto de intersección se mueve verticalmente hacia

abajo para determinar el valor del factor A. Siguiendo el anterior procedimiento se pudo obtener un valor de $A=0.00065$

- Paso 4: Para la ejecución de este paso se utiliza la figura 13
- Paso 5: Con la intersección obtenida en el paso anterior se desplaza horizontalmente hacia la derecha obteniendo el valor de B, siendo este de 65 para un acero A53.
- Paso 6: Se determina el valor de P utilizando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{4B}{3} \left(\frac{D_o}{t} \right)$$

Remplazando para A53 se obtienen un valor de 291.53psi, con lo que se puede determinar que el material soportara la presión ejercida.

6.7 MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE EN LAS TAPAS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Para determinar la presión que puede soportar las placas que se encuentran en la cámara de combustión se utiliza la siguiente ecuación.¹⁰

$$P = 27.000(t ((D - \phi d)) / WD)$$

$$P = 27000 \times 0.8cm((6.5cm - 3.864cm) / (43cm \times 6.5cm))$$

¹⁰PFT 13, EN: Reglas para la construcción de calderas de potencia. Código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión; p 150.

$$P = 203.7\text{psi}$$

Como se menciona anteriormente las tapas de la cámara de combustión requieren cambio, la presión obtenida anteriormente será considerada para seleccionar un material que soporte tales condiciones, por otro lado se hallara la fuerza ejercida sobre las tapas.

$$f = P \times A$$

$$f = 203.7\text{lb}/\text{in}^2 \times 141\text{in}^2$$

$$f = 13027.63\text{ Kg}$$

6.8 TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.

Según la parte PFT-48.2, el agua de alimentación no debe suministrarse al equipo en un punto que este por debajo de 300mm del techo del hogar, por lo que es necesario realizar el cambio de esta conexión en el equipo actual, ya que se encuentra a una distancia de 185 mm.

7. REINGENIERÍA

Después de determinar los cambios necesarios para cumplir con los requerimientos de la norma ASME se procede a aplicar dichas mejoras en el equipo.

Inicialmente se corta 1 mm de la cámara de humos, buscando reducir el camino que deben seguir los gases de escape antes de pasar por la chimenea, disminuyendo el área de transferencia de calor con el ambiente, por lo que la temperatura de estos no disminuirá, permitiendo que su ascenso o tiro sea rápido, impidiendo las fugas que se generaban.

Posteriormente se maquinan dos (2) aros de acero al carbono de 8 mm de espesor, para que se ajusten a los requerimientos de la norma, los cuales tendrán de diámetro interno 358 mm y externo de 440 mm, después serán sujetos al cuerpo de la caldera utilizando soldadura E6013, el nuevo ensamble será pulido buscando aumentar su grado de planitud, permitiendo que el ajuste con las tapas superior e inferior sea lo más preciso posible reduciendo las fugas.

Luego se reemplazan las tapas superior e inferior, pasando de tener un espesor de 6.35mm a tener 8 mm en acero al carbono, lo que garantiza soportar la presión y temperatura generada por los gases de la combustión, sin llegar a sufrir pandeo, Estos elementos tendrán las mismas dimensiones que los aros.

Por otro lado se fabricaran 2 empaques en papel húmedo de 2 mm de espesor, que permiten eliminar las posibles deficiencias de planitud entre las tapas y el cuerpo de la caldera.

Ver anexo A. Planos de Construcción.

Al observar la deficiencia que presentaba el anterior método de sujeción entre las tapas y el cuerpo de la caldera al permitir la fuga de los gases de combustión, se hace necesario diseñar un sistema en el que se elimine este problema, además debe permitir el desensamble de forma fácil y rápida, con el fin de realizar las actividades concernientes al mantenimiento del equipo, para tal propósito se establece el uso de bridas.

A continuación se plasman los cálculos realizados con el fin de hallar las dimensiones y el número de tornillos necesarios para soportar la presión que generaran los gases de combustión en el hogar y la cámara de gases.¹¹

Los orificios de los tornillos deben estar separados del orillo como mínimo 1.5 veces el diámetro del mismo para evitar roturas o grietas alrededor de estos, se utilizaran tornillos con un diámetro mayor nominal de 9.5mm, por lo que el aro quedaría del siguiente ancho:

$$1.5 \times 0.95cm = 14.25mm$$

$$(2 \times 1.425) + 9.5 = 38 mm \approx 40 mm$$

Como cada tapa tiene un espesor de 8 mm, se dice que se tiene un agarre (l) de 15.9 mm, tomando como referencia el diámetro mayor nominal del tornillo, se halla el espesor de la tuerca, teniendo un valor de 8.33 mm.

Con estos datos se halla la longitud mínima que debe tener el perno:

$$L = 21/64 + 0.625 + 2/11$$

¹¹ BUDINAS, Richard G y Nisbett, Keith. Diseño en Ingeniería Mecánica: Mc Graw Hill, 2008. Capítulo 8.

$$L = 28.70mm$$

Se debe aclarar que esta longitud se debe acoplar a la que se maneja comercialmente por lo que para efectos de cálculo se utiliza la tabla 4.

Tabla 4. Tamaños preferidos y números de Renard (Serie R) (Cuando pueda elegir, use uno de estos tamaños; sin embargo, no todas las partes o artículos están disponibles en todos los tamaños que se muestran en la tabla)

Fracción de pulgadas
$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4},$ $2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2},$ $10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18,$ $18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$
Décimas de pulgadas
0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.060, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20
Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50,

60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

Números de Renard*

1ª. Elección, R5: 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10

2ª. Elección, R10: 1.25, 2, 3.15, 5, 8

3ª. Elección, R20: 1.12, 1.4, 1.8, 2.24, 2.8, 3.55, 4.5, 5.6, 7.1, 9

4ª. Elección, R40: 1.06, 1.18, 1.32, 1.5, 1.7, 1.9, 2.12, 2.36, 2.65, 3, 3.35, 3.75

4.25, 4.75, 5.3, 6, 6.7, 7.5, 8.5, 9.5

* Se pueden multiplicar por, o dividir entre, potencias de 10

Fuente: Libro Diseño en Ingeniería Mecánica pág. 1015

En donde se toma el tamaño del perno más próximo teniendo una longitud de 1.25 in ó 31.75 mm grado 5, de los cuales se halla la longitud de la parte roscada utilizando la siguiente ecuación:

$$L_t = 2\theta + \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$L_t = 2(0.375) + \frac{1}{4} = 1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

Al restar de la longitud del tornillo la parte roscada se halla la parte que quedara sin rosca en el agarre (l_d), obteniendo un valor de 0.25 in ó 6.35 mm.

Después se establece la longitud del perno que estará roscada en el agarre (ℓ_t).

$$\ell_t = L - l_d$$

$$\ell_t = 0.625 \text{ in} - 0.25 \text{ in} = 0.375 \text{ in} = 9.525 \text{ mm}$$

Luego se toma el valor del área de esfuerzo de tensión (A_t) de la siguiente tabla:

Tabla 5. Diámetros y áreas de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF*

Designación de tamaño	Serie gruesa - UNC				Serie fina - UNF		
	Diámetro mayor nominal pulg	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.00180	0.00151
1	0.0730	64	0.00263	0.00218	72	0.00278	0.00237
2	0.0860	56	0.00370	0.00310	64	0.00394	0.00339
3	0.0990	48	0.00487	0.00406	56	0.00523	0.00451
4	0.1120	40	0.00604	0.00496	48	0.00661	0.00566
5	0.1250	40	0.00796	0.00672	44	0.00880	0.00716
6	0.1380	32	0.00909	0.00745	40	0.01015	0.00874
8	0.1640	32	0.0140	0.01196	36	0.01474	0.01285
10	0.1900	24	0.0175	0.01450	32	0.0200	0.0175
12	0.2160	24	0.0242	0.0206	28	0.0258	0.0226
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.0318	0.0269	28	0.0364	0.0326
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.0524	0.0454	24	0.0580	0.0524
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.0775	0.0678	24	0.0878	0.0809
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.1063	0.0933	20	0.1187	0.1090
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.1419	0.1257	20	0.1599	0.1486
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240

$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

* Esta tabla se compilo de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.299\ 038p$ y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor

Fuente: Libro Diseño en Ingeniería Mecánica pág. 399

En donde para un tornillo de $3/8$ in ó 9.525 mm, se tiene un (A_t) con un valor de 0.0775 in^2 , además se halla el área del diámetro mayor (A_d) utilizando la siguiente ecuación:

$$A_d = (\pi \times \theta^2) / 4$$

$$A_d = 0.11\text{ in}^2 = 0.7096\text{ cm}^2$$

Con los valores anteriores se calcula la rigidez del perno utilizando la siguiente ecuación:

$$K_b = \left(A_d \times A_t \times E / A_d \times l_t \right) + (A_t \times l_d)$$

Donde E es el modulo de elasticidad para tornillos en acero de 30 Mpsi valor tomado de la siguiente tabla.

Tabla 6. Parámetros de rigidez de varios materiales.

Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad		A	B
		GPa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30.0	0.78715	0.62873
Aluminio	0.334	71	10.3	0.79670	0.63816
Cobre	0.326	119	17.3	0.79568	0.63553
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.77871	0.61616
Expresión general				0.78952	0.62914

Fuente: Libro Diseño en Ingeniería Mecánica pág. 416

Teniendo como resultado para K_b un valor de $4.50^{Mbf/in}$

Posteriormente se calcula la rigidez de los materiales a sujetar en donde es necesario convertir el modulo de elasticidad de pascales a Mpsi en donde:

$$199000/6895 = 28.66 \approx 29Mpsi$$

A continuación se determina la rigidez en los materiales K_m .

$$\frac{0.577 \times \pi \times E \times d}{2in \left(5 \frac{(0.5774l + 0.5d)}{(0.577l + 2.5d)} \right)}$$





$$K_m = 12.6 \text{ Mlbf/in}$$

Por último para encontrar la cantidad de pernos que se deben utilizar se halla la fuerza de sujeción que se debe aplicar.

$$F_i = 0.75 \times A_t \times S_p$$

El valor de S_p se toma de la siguiente tabla.

Tabla 7. Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE Núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima, Kpsi	Resistencia mínima a la tensión, Kpsi	Resistencia mínima a la fluencia, Kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ $\frac{7}{8} - 1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4} - 1$ $1\frac{1}{8} - 1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, T y R	

5.2	$\frac{1}{4} - 1$	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	105	133	81	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	120	150	92	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4} - 1$	120	150	115	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

* Las resistencias mínimas son resistencia que excede 99% de los sujetadores

Fuente: Libro Diseño en Ingeniería Mecánica pág. 418

$$F_i = 0.75 \times 0.0775 \times 74 = 4.30 \text{Kip}$$

Después se halla la constante de rigidez de la unión (C_1):

$$C_1 = \frac{K_b}{(K_b + K_m)} = 0.26$$

Finalmente se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(C_1 \times n \times f)}{A_t} \times S_p - F_i$$

Remplazando la anterior ecuación se pudo determinar que son necesarios 7.70 tornillos que para efectos prácticos se tomaran como 8, los cuales se espaciaron cada 45° , seguidamente se hacen los agujeros donde serán puestos los elementos de sujeción.

Luego se realiza el cambio del ducto utilizado para la alimentación de agua, pasando de estar a una distancia del techo del hogar de 185 mm a una de 300mm, con esto la alimentación del equipo no tendrá que soportar la presión que genera el agua que se encuentra por encima del ducto de suministro por lo que el ingreso será más óptimo.

Además se crea una camisa en la que se tendrá una termocupla con la que se pueda obtener información del aumento de temperatura en el agua a medida que esta entra en contacto con el calor producido por los gases de combustión la cual será adherida al cuerpo de la caldera por medio de la utilización de soldadura E6013.

Así mismo se adhieren a la caldera 4 elementos que serán utilizados para sujetar el cuerpo del equipo a una base que permita su anclaje al piso, eliminando las vibraciones generadas, las cuales podrían llegar a ocasionar accidentes en las personas que manipulen el equipo.

8. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Con el fin de determinar los elementos que son necesarios para implementar el sistema de agua, combustible y eléctrico en la caldera es necesario tener conocimiento de la demanda de vapor que se debe suplir.

8.1 DEMANDA DE VAPOR.

Para fijar la cantidad de vapor que se obtiene al manipular la caldera pirotubular se determina el volumen total de agua que se puede almacenar en el equipo para establecer el calor que se debe suministrar al líquido, con el fin de realizar el respectivo cambio de fase.

Como se establece en la tabla 2, el cuerpo de la caldera tiene una longitud entre placas de 430mm de los cuales el 80% se utiliza para almacenar agua y el 20% restante para acumular el vapor generado.

Se determina el volumen de la cámara de agua de los tubos de la caldera utilizando la siguiente ecuación.*

$$V = \pi \times r^2 h$$

En donde r es el radio interno del cuerpo de la caldera y h es la altura equivalente al 80% de la cámara de agua del equipo.

$$V_{cal} = \pi \times (17)^2 \times 40$$

$$V_{cal} = 36317cm^3$$

*Ecuación utilizada para hallar el volumen de cuerpos con geometría cilíndrica.

Se halla el volumen que ocupa internamente un tubo, utilizando el diámetro externo el cual es de 4.22cm.

$$V_{tubo} = \pi \times (2.11)^2 \times 40$$

$$V_{tubo} = 559cm^3$$

A continuación se determina el volumen total ocupado por los 19 tubos.

$$V_{tubos} = 559 \times 19$$

$$V_{tubos} = 10621cm^3$$

Con los valores obtenidos se establece el volumen total de agua a evaporar.

$$V_{AGUA} = V_{cal} - V_{TUBOS}$$

$$V_{AGUA} = 25696 cm^3 \approx 0.025696m^3$$

Con el volumen obtenido se halla la masa de agua a evaporar utilizando la siguiente ecuación:*

$$m = \rho \times V_{AGUA}$$

En donde m sería la masa de agua a evaporar y ρ la densidad del agua a una temperatura de 25 °C igual a $997^{kg}/m^3$.¹²

$$m = 997^{kg}/m^3 \times 0.025696m^3$$

*La masa se obtiene al despejarla de la ecuación utilizada para hallar la densidad de un elemento.
¹² CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: Mc Graw Hill, 2007. P. 843.

$$m = 25.62 \text{ kg} \approx 26 \text{ kg}$$

El anterior valor se expresa en unidades inglesas en donde 1kg equivale a 2.2 Lbm por lo que se tendrían 57.2 Lbm de agua a evaporar, la anterior conversión se realiza con el fin de facilitar las actividades de cálculos posteriores.¹³

Como se puede observar el agua entra a la caldera como líquido comprimido a una temperatura de 68°F (20°C) y se debe llevar a líquido saturado con una temperatura de 212°F (100°C), por lo que utiliza la siguiente ecuación:**

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

Reemplazando en la anterior ecuación se obtendría:

$$Q_1 = 57.2 \text{ Lbm} \times 1 \text{ BTU/Lbm}^\circ\text{R} \times (212 - 104)^\circ\text{F}$$

$$Q_1 = 6177.6 \text{ BTU}$$

Para evaporar el líquido se requiere un ingreso de calor constante, el cual será destinado para empezar a producir un cambio de fase en el fluido, con el fin de llevarlo de agua a vapor, para esto se utiliza el calor latente de vaporización que tiene un valor de 970^{BTU}/_{Lbm}, por lo que se utiliza la siguiente ecuación.*

$$Q_2 = m \times C_{lat}$$

¹³ CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: Mc Graw Hill, 2007. P. Factores de conversión.

**La ecuación es tomada del libro de transferencia de calor y masa de Yunus A Cengel pág. 12 y se utiliza para sistemas cerrados de masa fija en donde hay transferencia de calor pero no existe ninguna fuente de trabajo que interaccione con el mismo, en donde Q es el calor a suministrar, m es la masa de agua y C_p es el calor específico a una temperatura de 68 °F,

* La ecuación es tomada de *Calor latente* [en línea]. Wiki pedía, La enciclopedia libre, 2011 [fecha de consulta: 6 de septiembre del 2011]. Disponible en <://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Calor_latente&oldid=49570898>. Y expresa el calor que ingresa al sistema en donde m es la masa y C_{lat} es el calor necesario para que una sustancia tenga un cambio de fase o calor latente.

$$Q_2 = 57.2 \text{ Lbm} \times 970 \text{ BTU/Lbm}$$

$$Q_2 = 55484 \text{ BTU}$$

Luego se debe subir la temperatura de vapor hasta que este sobrecalentado, con una temperatura de 248°F (120°C) por lo que se reemplaza en la ecuación.

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

$$Q_3 = 57.2 \text{ Lbm} \times 1 \text{ BTU/Lbm}^\circ\text{R} \times (248 - 212)^\circ\text{F}$$

$$Q_3 = 2059 \text{ BTU}$$

Finalmente se halla el calor total que se requiere para subir la temperatura del agua de 68 °F (20 °C) a 248 °F (120°C) utilizando la siguiente relación:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 6177.6 \text{ BTU} + 55484 \text{ BTU} + 2059 \text{ BTU}$$

$$Q_T = 63720 \text{ BTU}$$

Si se asumen perdidas al medio ambiente en un 15% entonces el calor real demandado seria:

$$Q_{RD} = 63720 + 15\%$$

$$Q_{RD} = 73229 \text{ BTU}$$

Si el requerimiento de vapor diario es de 330 Lb-m y en turnos de 8 H determinamos el calor que se debe aportar al sistema, con el fin de dar cumplimiento a tal requerimiento para lo que se usa la siguiente relación:

$$Q_{\text{día}} = \frac{\text{DEMANDA DE VAPOR DIARIO} \times Q_{RD}}{m}$$

$$Q_{\text{día}} = \frac{330 \text{ Lbm} \times 73229 \text{ BTU}}{57.2 \text{ Lbm}}$$

$$Q_{\text{día}} = 422475 \text{ BTU}$$

Posteriormente se determina la potencia de la caldera la cual sería:

$$POT_{CAL} = Q_{DIA} / TURNO$$

$$POT_{CAL} = 422475 \text{ BTU} / 8h$$

$$POT_{CAL} = 52809 \text{ BTU} / h$$

Con el resultado anterior se puede determinar la potencia necesaria en el quemador para cumplir con la demanda de vapor, en donde se asume una eficiencia en el elemento del 75%.

$$POT_{quemador} = POT_{CAL} \times EFICIENCIA_{QUEMADOR}$$

$$POT_{quemador} = 52809 \text{ BTU} \times 1.25$$

$$POT_{quemador} = 66011 \text{ BTU}$$

Con los datos obtenidos se procede a calcular los sistemas de alimentación de agua, combustible y eléctrico que se ajustaran a la caldera buscando un mejor rendimiento en el equipo.

8.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA.

Uno de los principales problemas era tomar el agua directamente de la red hidráulica, ya que los elementos que se encuentran suspendidos en el fluido pueden generar problemas que acorten la vida útil del equipo, por tal razón se implementaran una serie de elementos que serán nombrados a continuación:

- Inicialmente se instalaran 2 elementos de filtración que utilizan carbón activo para tal fin, estos materiales permiten eliminar las moléculas de compuestos orgánicos que de no ser retirados podrían generar al interior del equipo CO_2 y ácidos orgánicos corrosivos, además de facilitar la generación de lodos.*

Con la instalación de estos elementos se eliminan las moléculas de cloro, el color y el sabor presentes en el agua de alimentación de la caldera, estos filtros irán instalados entre la red principal del acueducto y el tanque de agua utilizado para la alimentación del equipo.

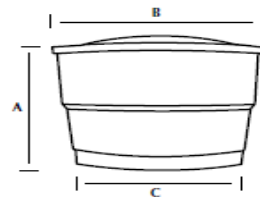
- Se instalara un tanque que se utilizara para retener el agua y suplir el fluido al equipo sin importar los cortes de suministro que se puedan generar en la red de alimentación principal, por otro lado servirá para aplicar el tratamiento químico BIOQUIM, el cual permite regular los rangos de dureza, alcalinidad, pH, sulfitos, entre otros que dejara en optimas condiciones el

* Al calentar el agua el CO_2 se desprende disminuyendo la capacidad de mantener carbonatos y magnesio en solución por lo que estos se precipitan lo que genera incrustaciones en la tubería de la caldera.

liquido antes de entrar en la caldera, este producto se utiliza ya que en el mercado industrial tiene un alto grado de efectividad.

El tanque de almacenamiento de agua tendrá las siguientes dimensiones:

Figura 11. Dimensiones Tanque de Almacenamiento

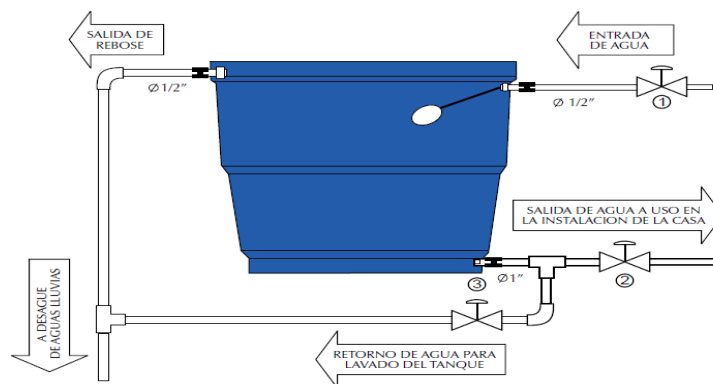


Dimensiones				
Capacidad (Litros)	Altura (A) cm	Diametro (B) cm	Diametro (C) cm	Peso (Kg)
250	76	84	58	8.0

Fuente: www.ajover.com/es/construccion

El tanque se conectara según recomendación del fabricante de la siguiente forma:

Figura 12. Forma de instalación tanque.



Fuente: www.ajover.com/es/construccion

- Posterior al tanque de almacenamiento se instalara una bomba de agua que permitirá suministrar el líquido a un tanque de precalentamiento para posteriormente alimentar la caldera.
- Se fabrica un tanque de precalentamiento que permite aprovechar el calor que se encuentra en los gases de escape al hacer su recorrido por la chimenea.

El segundo recipiente de almacenamiento se debe construir de tal forma que supla la cantidad de líquido que existe entre el sensor de nivel superior y el de nivel medio de la caldera, en donde esta distancia es igual a 5447 cm^3 , si se determina que este valor es equivalente a un 70% y que el 30% restante será empleado para que los vapores que se generen tengan un lugar de almacenamiento para su posterior expulsión, se establece que las dimensiones del tanque deben ser:

$$x = \frac{0.19 \text{ ft}^3 \times 100\%}{70\%}$$

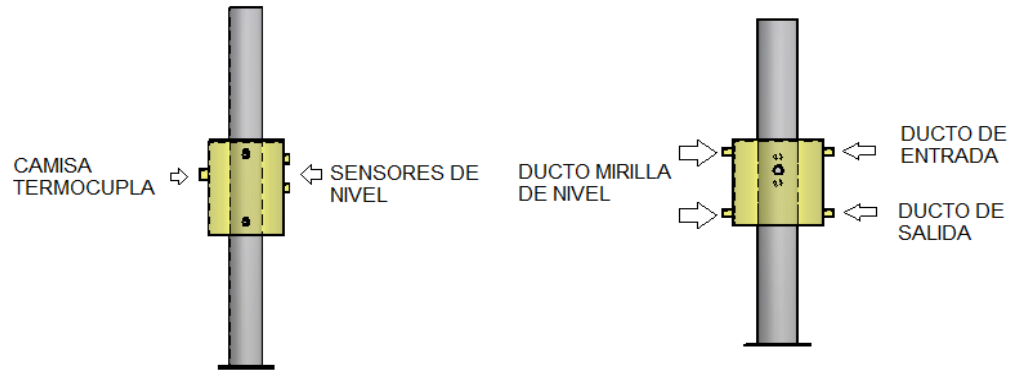
$$x = 0.28 \text{ ft}^3 \approx 7928.71 \text{ cm}^3$$

Ver anexo A. Planos de Construcción.

El anterior tanque contara con una mirilla de nivel que permita conocer visualmente la cantidad de líquido que se encuentra al interior del mismo. Por otro lado se instalarán 2 sensores que midan la posición del liquido y así enviar señales a elementos eléctricos que actúen llenando o vaciando el recipiente, por otro lado contara con los ductos de entrada y salida del fluido al recipiente, además se fabricara una camisa, en la cual se introducirá una termocupla tipo j, que censé la temperatura del liquido a la entrada de la

caldera, los anteriores elementos serán dispuestos en el tanque de la siguiente forma:

Figura 13. Tanque de Precalentamiento.



Fuente: Autor

Como se puede observar, el tanque rodea al tubo de la chimenea con lo que se aprovecha en mayor medida todo el poder calorífico que se desprende en el proceso de la combustión, obteniendo un aumento de temperatura en el líquido de alimentación de la caldera, disminuyendo así la cantidad de calor necesaria para obtener el vapor requerido.

- En cuanto a la salida de vapor se instalara una trampa que retire las moléculas de líquido las cuales serán reintegradas al ciclo al ponerlas en el tanque de almacenamiento, es de aclarar que en el recorrido del agua se instalaran manómetros que permitan visualizar la presión en diferentes puntos de interés.
- Se ponen manómetros a la salida y entrada de la caldera, a la salida de la bomba y a la salida de la trampa de condensados

8.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.

En la revisión inicial se determinó que la caldera no contaba con un sistema de alimentación adecuado, ya que el combustible era tomado de un recipiente no hermético, que permitía la entrada de aire a la bomba del quemador, por otro lado no existía un elemento que permitiera filtrar el ACPM, con el fin de retirar todo material que pudiera tapar las boquillas del mismo, de manera que se fabricaran e instalaran elementos para evitar estos inconvenientes los cuales serán descritos a continuación:

- Se realiza la instalación de un tanque que permite almacenar de forma adecuada el combustible utilizado para la quema, el cual estará equipado con una mirilla, que permita a las personas que manipulan el equipo tener conocimiento de la cantidad de fluido que se encuentra al interior de este para realizar el respectivo llenado cuando el sistema lo requiera, evitando la entrada de aire a la tubería (mangueras), lo que contribuye a que el funcionamiento del quemador sea ineficiente o tenga paradas inesperadas, las consideraciones a tener en cuenta para el tanque serán expuestas a continuación:

Inicialmente se determina cuantos galones consume el quemador en una hora, para lo cual se utiliza la siguiente relación matemática:

$$\# \text{ de galones por hora} = \frac{\text{potencia quemador}}{\text{poder calorifico ACPM}}$$

Teniendo en cuenta que el poder calorífico del ACPM es $138000^{BTU}/h$, al remplazar quedaría:*

$$\# \text{ de galones por hora} = \frac{66011 \text{ BTU}/h}{138000 \text{ BTU}/Gal}$$

$$\# \text{ de galones por hora} = 0.48 \text{ Gal}/h$$

Es así como se puede determinar que para cumplir con la producción de vapor de un día de ocho horas, se requiere un tanque que pueda almacenar 4 galones equivalente a 15141.64 cm^3 , si se determina que esta cantidad va a ocupar el 70% del volumen total del tanque, entonces:

$$x = \frac{15141.64 \text{ cm}^3 \times 100\%}{70\%}$$

$$x = 21630.9 \text{ cm}^3$$

Con el volumen total se determinan las dimensiones del recipiente asumiendo un diámetro de 30 cm:*

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi 15 \text{ cm}^2$$

$$A = 706.8 \text{ cm}^2$$

* Dato obtenido de <http://es.scribd.com/doc/28265084/Combustibles-poder-calorifico>

* Formula usada para hallar el área de elementos con geometría circular.

Posteriormente se calcula la longitud del tanque utilizando la siguiente relación matemática:**

$$L = Vol/Area$$

$$L = 21630.9cm^3/706.8cm^2$$

$$L = 31 cm$$

Con las dimensiones establecidas se obtiene un tanque en la industria con dimensiones que se ajustan a las establecidas en el anterior cálculo.

Figura 14. Tanque de combustible



Fuente: Autores

** La longitud se halla al despejarla de la fórmula utilizada para hallar el volumen en cuerpos con geometría cilíndrica.

- Se instala un filtro, el cual en la parte superior tiene acoplado un bombín, que permite eliminar el aire que se ha acumulado en las tuberías (mangueras), esto se logra accionándolo en repetidas ocasiones, en donde su sistema de resorte lo devuelve a la posición inicial y de esta manera se expulsa el aire.

Con la instalación del anterior elemento, se busca eliminar las partículas suspendidas en el combustible, con lo que se evita taponamientos y perdidas de pulverización en las boquillas, logrando una llama adecuada en el quemador.

Figura 15. Conjunto bombín – filtro de combustible

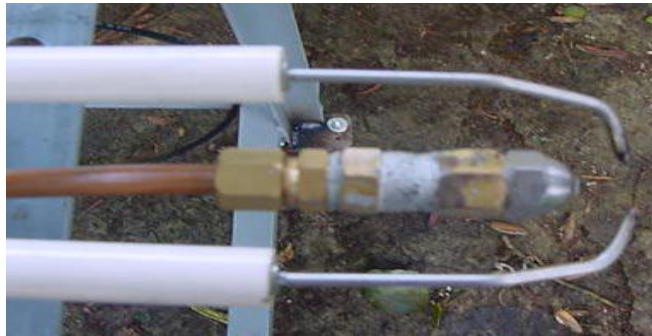


Fuente: Autores

- Al realizar la inspección del quemador se detectó que no encendía y se generaba un corto al ser conectado. Se decidió realizar una evaluación del estado del mismo, para poder determinar qué tipo de reparación requería debido a que existían elementos que presentaban deficiencia.

Inicialmente se cambio el transformador, con lo que se garantiza que el voltaje generado fuera el requerido por el quemador y sus elementos auxiliares; además por taponamiento fue necesario instalar una boquilla con sus respectivos electrodos buscando que la mezcla realizada genere una llama adecuada.

Figura 16. Boquilla de combustible - electrodos



Fuente: Autores

Después se instala el flanche y se cambia el cañón, el cual tenia fisuras que no permitían su correcto ensamble con el cuerpo del quemador, por tanto al quedar estos elementos fijos se logra un ajuste con la caldera que asegura que la llama permanezca al interior del hogar.

- Se instala el difusor al final del cañón con lo que se logra una mejor pulverización del fluido al chocar este con las paredes del elemento, generando una llama optima para los requerimientos de la caldera; por lo que se determina que el uso de este elemento es de vital importancia, ya que si este se suprime no se tendría una buena combustión del liquido, por consiguiente no habría flama.

Figura 17. Difusor



Fuente: Autores

- Por último a este sistema se le instalara un manómetro de presión de combustible en el sitio adecuado para que la presión generada por la bomba de inyección de combustible se pueda leer de forma clara.

Con los cambios realizados en el quemador se logra una llama adecuada, la cual se puede observar en la figura 18.

Figura 18. Funcionamiento del quemador actual



Fuente: Autores

8.4 SISTEMA ELÉCTRICO.

Después de realizar la respectiva inspección visual y determinar los problemas que se reflejan en este sistema, se procede a realizar las siguientes mejoras.

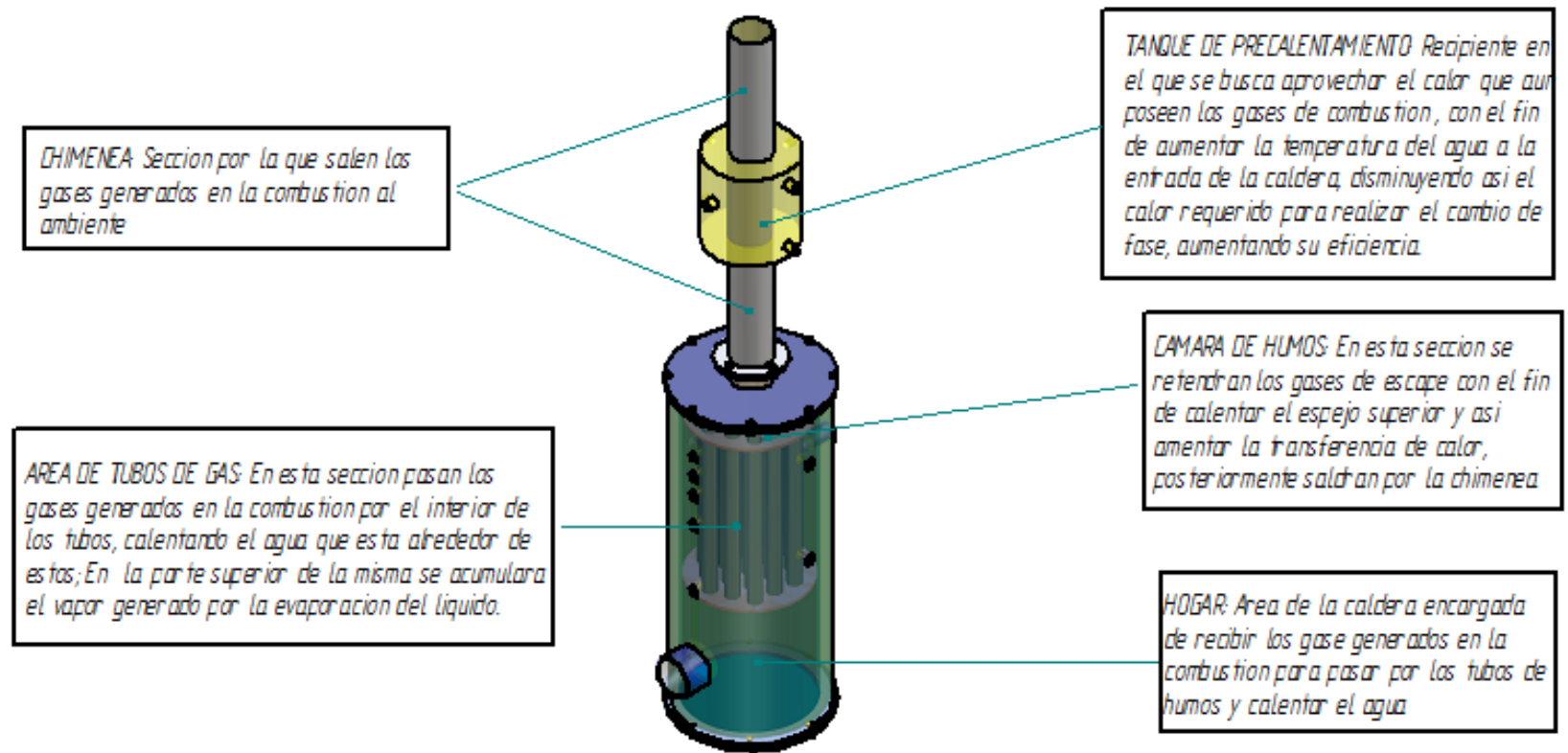
- Se instalan 4 termocuplas, la primera mide la temperatura que tiene el agua de alimentación al ingresar al equipo, la segunda estará ubicada en el cuerpo de la caldera específicamente en la cámara de agua censando los cambios que se generan al hacer contacto con un fluido de menos calor, la tercera se halla a la salida del vapor generado y la última en la chimenea.
- También se instalan 4 controladores de temperatura que reciban las señales generadas y las plasmen permitiendo la visualización de estas variables por las personas que manipulan el equipo, en donde se genere un control sobre el quemador al tener un valor mayor a 120 en el vapor generado.
- Igualmente se instala un pulsador de seguridad que desconecte el sistema inmediatamente se obture.
- Por otro lado se instalara una alarma sonora que advierta a las personas que manipulan el equipo de cualquier problema así estos no estén presentes.

Posteriormente a la instalación de estos elementos se realiza un nuevo cableado en donde se distingan las conexiones por colores, que permitan una mejor manipulación a la hora de realizar un mantenimiento, por otro lado se construirá un elemento de fijación en donde se encuentren todos los dispositivos eléctricos.

La caldera después de las mejoras realizadas en los aros, tapas, ductos y cuerpo se ensambla con el tanque de precalentamiento, quedando como se plasma en la Figura 19.

Finalizada el área de reingeniería, en donde se instalan todos los elementos que permiten tener un mejor funcionamiento, se realiza una actividad de verificación al poner en operación el equipo observando las posibles fallas en el ensamble.

Figura 19. Ensamble de Caldera



Fuente: Autores

9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En la reingeniería y puesta en funcionamiento de la caldera pirotubular de la fundación universitaria los libertadores, se estimó para la ejecución del proyecto una inversión de seis millones quinientos mil pesos (\$6.500.000), entre recursos de los estudiantes y la universidad.

De acuerdo a lo anterior se dan a conocer los costos de cada uno de los elementos utilizados para la ejecución del proyecto relacionándolos en la tabla 8.

Tabla 8. Relación costos cuerpo de la caldera

DESCRIPCIÓN	COSTO
Carcasa	0
Espejos	0
Tubos de Fuego	0
Base	\$700,000
Tapas y Anillos	\$200,000
SUBTOTAL 1	\$900,000

Fuente: Autores

Tabla 9. Relación costos de equipo y accesorios complementarios

DESCRIPCIÓN	COSTO
Tanque de Pre calentamiento	\$160,000
Forro Caldera (Acero Inoxidable)	\$90,000

Reparación Quemador (Beckett)	\$520,000
Bomba de Agua	\$70,000
Refractario (Lana Mineral)	\$110,000
Aislamiento (Fibra de Vidrio)	\$80,000
Visores de Cristal (2)	\$150,000
Trampa de Vapor	\$250,000
Bombín	\$150,000
Manómetros (6)	\$240,000
Tablero de Control	\$180,000
Elementos eléctricos	\$500,000
Tornillos para Tapas	\$10,000
Accesorios para la Instalación	\$290,000
Aranceles por servicios y mano de obra para el ensamblado y montaje de la caldera	\$2,800,000
SUBTOTAL 2	\$5,600,000

Fuente: Autores

Como se puede observar el anterior costo no tiene reflejado los gastos generados en el montaje, la adecuación, la mano de obra, entre otros.

Teniendo en cuenta que el precio de las calderas, con características similares al proyecto ejecutado, oscila en el mercado entre los 15.000.000, se determina que con la ejecución de la reingeniería del equipo se está logrando un ahorro en los recursos económicos del 43.3% con lo que se puede establecer la viabilidad del mismo.

Por otro lado se genera un beneficio institucional al contar con un equipo lúdico que permite el mejoramiento de la calidad educativa a nivel del área térmica.

Además de fijarse un punto de partida, para la implementación de un laboratorio de maquinas térmicas, que genere un incremento en el número de prácticas académicas, que permita el fortalecimiento investigativo de los estudiantes, con el fin de crear profesionales más competitivos.

10 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Con el equipo en óptimas condiciones se hace necesario crear una guía detallada de los pasos que se deben seguir al momento de poner en funcionamiento el equipo, con el fin de eliminar las causantes de accidentalidad por poco conocimiento al manipular la caldera.

A demás se plantean una serie de actividades que permitan aumentar la vida útil del equipo, disminuyendo fallas que interrumpan su óptimo funcionamiento.

Ver anexo B. Manual de operación y Mantenimiento.

10. PRACTICAS ACADÉMICAS

Teniendo en cuenta la importancia de dar una aplicación académica a la caldera se realiza un modelo de práctica en donde se puedan aplicar los conocimientos obtenidos en el área térmica en los siguientes temas:

- Practica 1: Conceptos básicos
- Practica 2: Energía y transferencia de energía
- Practica 3: Propiedades de las sustancias puras
- Practica 4: Análisis de masa y energía de volúmenes de control
- Practica 5: Segunda ley de la termodinámica

Ver anexo C. Prácticas Académicas

11. CONCLUSIONES

Se analizaron las consideraciones a tener en cuenta en la fabricación del equipo, realizando las mejoras pertinentes, tomando como referencia la norma ASME para elementos a presión, en donde se determinó que era necesario cambiar las tapas superior e inferior, el ducto de alimentación de agua, la longitud de la cámara de gases, el medio de sujeción de las tapas y el cuerpo de la caldera con lo que se mejora el funcionamiento del equipo.

Por otro lado se diseñó e implementó el sistema de alimentación de agua, en donde inicialmente el fluido pasa por filtros de carbón activo, que retiran todo el material particulado que este contenga, luego se almacena en un tanque para realizar un tratamiento químico nivelando los rangos de dureza, pH, entre otros, para ser enviado con el uso de una bomba a un tanque de precalentamiento que aumente la temperatura de ingreso a la caldera, disminuyendo la cantidad de calor requerido para evaporar el agua. Con la implementación de este sistema se aumenta la vida útil del equipo ya que se disminuye la creación de corrosión e incrustaciones.

Con el sistema de alimentación de combustible se logra que el ACPM antes de ser suministrado al quemador sea filtrado, en donde se eliminan las partículas que puedan tapan la boquilla y las concentraciones de aire que hagan cavitación a la bomba, permitiendo una óptima pulverización del fluido, además se logra tener una llama adecuada que permita la eficaz evaporación del agua.

El sistema eléctrico se mejoró al poner elementos con los que se pueden observar las temperaturas en diferentes partes del proceso, además de mejorar y aumentar los elementos de seguridad de la caldera.

Al poner en funcionamiento la caldera se desarrollaron prácticas en el área térmica en temas relacionados con cambio de fase de una sustancia pura, primera ley de volúmenes de control, aplicación tablas termodinámicas, ciclo Rankine Ideal y Tipos de transferencia de calor, permitiendo a los estudiantes aplicar y reforzar los conceptos obtenidos en la teoría.

Se elaboraron los manuales de operación y mantenimiento con lo que se dará un uso adecuado al equipo, ya que las personas que lo manipulen, tendrán conocimiento de las actividades que se deben seguir, buscando un aumento de la vida útil de la caldera.

12.RECOMENDACIONES

Una vez se implemente la caldera, es importante aplicar las actividades de mantenimiento en los plazos establecidos, con el fin de mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento y así pueda ser de gran ayuda para muchos estudiantes de la universidad.

Brindar el manual de operación a las personas que manipularan el equipo, para evitar accidentes por el poco conocimiento del mismo, además de estipular que la operación del equipo la realicen los docentes o las personas que se encuentren capacitadas en estos elementos.

Al realizar las prácticas académicas, los docentes deben establecer las normas que se deben seguir en el laboratorio, evitando así los incidentes que generen accidentes, al ejecutar las actividades con la caldera, dejar el equipo en las condiciones en las que se encontró con el fin de aumentar la vida útil del mismo.

Generar nuevos proyectos que permitan maximizar la aplicabilidad del equipo, plasmando nuevas prácticas, con el fin de que los estudiantes comparen la teoría con la práctica en temas del área termodinámica.

13. BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZFLÓREZ. Jesús Andrés, AGRAMUNT CALLEJON. Ismael. Maquinas Térmicas Motoras. España: Alfa omega, 2005. 533 p.

BUDYNAS. Richard G, NISBETT. J Keith. Diseño en Ingeniería Mecánica. Mc Graw Hill, 2008. 1059 p.

KOHAN L. Antony. Manual de Calderas. Volumen 1. España: Mc Graw Hill, 2000. 407 p.

NIÑO. Luis Rafael. Tratamiento de agua para calderas. Santiago de Cali, 1992. 27p

CENGEL. Yunus A. Transferencia de Calor y Masa. España: Mc Graw Hill, 2007. 900 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.
Trabajos escritos: Presentación y Referencias Bibliográficas. Sexta Actualización
Bogotá: ICONTEC, 2008. 110 P.

CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, Sección 1.

REGLAMENTO TÉCNICO DE CALDERAS PARA COLOMBIA