



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERO DE 7.5 BHP PARA GENERACIÓN DE VAPOR”

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

AUTORES

Robert Benigno Córdova Ordoñez

José Israel Larreátegui Pullaguari

1859

DIRECTOR

Ing. Patricio Valarezo Garcia

LOJA – ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN

Ing. Patricio Valarezo García.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERO

DE 7.5 BHP PARA GENERACIÓN DE VAPOR”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por los señores egresados: **Robert Benigno Córdova Ordoñez** y **José Israel Larreátegui Pullaguari**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, junio del 2011

Ing. Patricio Valarezo García

DIRECTOR DE TESIS



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad en la investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo de tesis les corresponden exclusivamente a sus autores y el patrimonio intelectual a la Universidad Nacional de Loja, autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables y por ende a la Carrera de Ingeniería Electromecánica; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

Robert Benigno Córdova Ordoñez

José Israel Larreátegui Pullaguari

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con todo el cariño a mi familia, con mucho amor a mis padres, a mis hermanos, a mí cuñado Ernesto y a todas las personas que me apoyaron moralmente, para ver cristalizado mi anhelo de ser un profesional, gracias de todo corazón, porque con su apoyo pude alcanzar este objetivo tan valioso en mi vida.

Robert Benigno Córdova Ordoñez

Dedico este trabajo a mis padres: José Gilbert y Elvia María, a mis hermanos, a mi hijo José Alejandro y a una persona muy especial en mi vida María Augusta, que estuvieron presentes en los buenos y malos momentos, que supieron apoyarme en todo para poder concluir este objetivo, sin duda uno de los más importantes en mi vida personal.

José Israel Larreátegui Pullaguari



AGRADECIMIENTO

Dios, te damos las gracias por habernos dado la oportunidad de alcanzar una de las metas más anheladas en nuestro proyecto de superación personal.

Para progresar es conveniente contar con los que nos quieren, por ello un profundo agradecimiento a nuestras familias y amigos que nos brindaron su apoyo de manera incondicional para cumplir con el objetivo trazado.

Queremos expresar sentimientos de gratitud a la Universidad Nacional de Loja, en particular a la Carrera de Ingeniería Electromecánica, a todo el personal administrativo y de manera especial a todos los docentes que nos impartieron sus conocimientos para nuestra formación académica y personal, los mismos que nos servirán para aplicarlos en el futuro, en el ámbito social y profesional.

No podríamos omitir a quien dedicó su valiosísimo tiempo, por su apoyo y colaboración como Director de Tesis; que sin ello este proyecto no hubiera sido posible, muchas gracias, **Sr. Ing. Patricio Valarezo García.**

Los Autores

INDICE

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	XIII
1. RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 Situación problemática.....	5
2.2 Problemática.....	7
2.3 Problema general de investigación.....	8
2.4 Objetivos.....	8
2.4.1 General.....	8
2.4.2 Específicos.....	8
2.5 Hipótesis.....	9
2.5.1 General.....	9
2.5.2 Especificas.....	9
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
3.1 Conceptos fundamentales.....	10
3.1.1 Energía.....	10
3.1.1.1 ¿Qué se entiende por energía?.....	10
3.1.2 Principales formas de energía.....	10
3.1.2.1 Energía cinética.....	10
3.1.2.2 Energía potencial.....	10
3.1.2.3 Energía radiante.....	11



3.1.2.4 Energía calorífica o calor.....	11
3.1.3 Principios de la energía: transformación, conservación, degradación.....	11
3.1.3.1 Degradación de la energía.....	12
3.1.4 Evaporación.....	12
3.1.5 Ebullición.....	12
3.1.6 Condensación.....	12
3.1.7 Temperatura.....	13
3.1.8 Calor.....	13
3.1.8.1 Calor sensible.....	13
3.1.8.2 Calor latente.....	13
3.1.8.3 Calor total.....	13
3.1.9 Combustión.....	13
3.1.10 Transferencia de calor.....	14
3.1.10.1 Conducción.....	14
3.1.10.2 Convección.....	15
3.1.10.3 Radiación.....	15
3.1.11 Presión.....	15
3.1.11.1 Presión atmosférica.....	15
3.1.11.2 Presión manométrica.....	16
3.1.11.3 Presión absoluta.....	17
3.1.12 Vapor.....	17
3.1.12.1 Vapor saturado.....	17
3.1.12.2 Vapor recalentado.....	17
3.1.12.3 Producción de vapor.....	18
3.1.12.4 Importancia de las aplicaciones del vapor.....	19
3.1.13 Generación de vapor.....	19
3.1.13.1 Principios básicos sobre generación de vapor.....	19
3.1.13.2 Clasificación de las máquinas según su forma de combustión.....	19
3.2 Calderos de vapor.....	20
3.2.1 Clasificación de los calderos.....	21

Caldero Pirotubular Horizontal

3.2.1.1	Por su energía consumida.....	22
3.2.1.2	Por la disponibilidad de los tubos.....	22
3.2.1.3	Por los métodos de circulación de agua.....	23
3.2.1.4	Por la presión de trabajo.....	24
3.2.1.5	Por el números de pasos o retornos.....	24
3.2.1.6	Por la disposición de los tubos.....	25
3.2.1.7	Por la posición de los calderos.....	26
3.2.2	Calderos pirotubulares horizontales.....	26
3.2.2.1	Generalidades.....	26
3.2.2.2	Partes constitutivas de la caldera pirotubular horizontal.....	26
3.2.2.2.1	La coraza.....	26
3.2.2.2.2	Cámara de agua.....	26
3.2.2.2.3	Cámara de vapor.....	26
3.2.2.2.4	El hogar o cámara de combustión.....	27
3.2.2.2.5	El haz de tubos.....	27
3.2.2.2.6	Tapas.....	27
3.2.2.2.7	Chimenea.....	28
3.2.2.2.8	Quemador.....	28
3.2.2.2.9	Bomba de alimentación.....	28
3.2.2.3	Dispositivos de control y seguridad.....	29
3.2.2.3.1	Control de nivel de agua (McDonnell).....	29
3.2.2.3.2	Control de presión (Presostato).....	30
3.2.2.3.3	Manómetro de presión.....	30
3.2.2.3.4	Válvula de seguridad.....	30
3.2.2.4	Accesorios complementarios.....	30
3.2.2.5	Funcionamiento.....	30
3.2.2.6	Aplicaciones.....	32
4.	MÉTODOS Y MATERIALES.....	33
4.1	Presión de operación.....	33
4.2	Presión de diseño.....	33



4.3	Coeficiente normativo.....	33
4.4	Potencia de diseño de la caldera.....	34
4.5	Volumen de acumulación de la caldera.....	35
4.6	Dimensionamiento de la caldera.....	35
4.6.1	Cálculo del espesor de la camisa de la caldera.....	35
4.7	Entalpía.....	36
4.8	Entropía.....	37
4.9	Ciclo térmico.....	38
4.10	Pérdidas de la caldera al exterior.....	39
4.10.1	Pérdidas por convección.....	39
4.10.2	Cálculo de temperatura de película.....	39
4.10.3	Cálculo del coeficiente de expansión.....	40
4.10.4	Cálculo del número de Rayleigh.....	40
4.10.5	Cálculo del número Nusselt (cilindro horizontal).....	40
4.10.6	Cálculo del coeficiente de convección.....	41
4.10.7	Cálculo del número Nusselt (placa vertical).....	41
4.10.8	Pérdidas por radiación.....	41
4.11	Cálculo del espesor de aislamiento.....	42
4.12	Potencia calorífica superior.....	42
4.13	Eficiencia de la caldera.....	42
4.14	Soldaduras.....	43
4.14.1	Límite de trabajo de soldadura.....	43
4.14.2	Coeficiente de resistencia a la fatiga del cordón.....	44
4.14.3	Límite elástico originado por el cordón.....	44
4.15	Pernos.....	44
4.15.1	Diámetro del perno.....	45
4.15.2	Carga máxima resistente a la rotura.....	45
4.15.3	Cálculo del número de pernos.....	45
5.	RESULTADOS.....	47
5.1	Cálculo de la presión de diseño.....	48

Caldero Pirotubular Horizontal

5.2	Cálculo del coeficiente normativo.....	49
5.3	Determinación de la potencia de diseño de la caldera.....	49
5.4	Cálculo del volumen de acumulación de la caldera.....	50
5.5	Dimensionamiento de la caldera.....	50
5.5.1	Cálculo del espesor del cilindro de la caldera.....	52
5.5.2	Dimensiones de la cámara de vapor y agua para el dimensionamiento de los tubos de circulación de calor.....	53
5.5.3	Número de tubos por fila.....	54
5.5.4	Arreglo de tubos escalonados.....	54
5.6	Determinación de calor de entrada y salida.....	54
5.7	Cálculo de pérdidas al exterior.....	58
5.7.1	Cálculo de la temperatura de película (cilindro horizontal).....	58
5.7.2	Cálculo del coeficiente de expansión (cilindro horizontal).....	59
5.7.3	Cálculo del número de Rayleigh (cilindro horizontal).....	59
5.7.4	Cálculo del número de Nusselt (cilindro horizontal).....	60
5.7.5	Cálculo del coeficiente de convección(cilindro horizontal).....	60
5.7.6	Cálculo las pérdidas por convección (cilindro horizontal).....	61
5.7.7	Cálculo de la temperatura de película (espejos).....	61
5.7.8	Cálculo del coeficiente de expansión (espejos).....	61
5.7.9	Cálculo del número de Rayleigh (espejos).....	62
5.7.10	Cálculo del número de Nusselt (espejos).....	62
5.7.11	Cálculo del coeficiente de convección (espejos).....	63
5.7.12	Cálculo de las pérdidas por convección (espejos).....	63
5.7.13	Cálculo de pérdidas por radiación (cilindro horizontal).....	64
5.7.14	Cálculo de pérdidas por radiación (espejos).....	64
5.8	Determinamos el espesor del aislamiento de la caldera.....	65
5.9	Cálculo de la potencia calorífica superior.....	66
5.10	Determinación de la eficiencia de la caldera.....	66
5.11	Cálculo de soldadura.....	67
5.11.1	Limite de trabajo de soldadura.....	67
5.11.2	Coefficiente de resistencia a la fatiga del cordón.....	68



5.11.3 Limite de trabajo de soldadura con electrodo E7018.....	69
5.12 Cálculo de los pernos.....	70
5.13 Selección del tipo de quemador a utilizar en la caldera.....	73
5.14 Determinación del tipo de bomba para alimentación de agua.....	73
5.15 Tecnología de construcción.....	74
5.15.1 Construcción del cilindro del caldera.....	74
5.15.2 Construcción del haz de tubos de fuego.....	75
5.15.3 Instalación de acoples.....	76
5.15.4 Instalación de control de nivel de agua.....	77
5.15.5 Instalación de manómetro.....	77
5.15.6 Instalación de presostato.....	77
5.15.7 Instalación de válvula de seguridad.....	78
5.15.8 Instalación de medidor de temperatura.....	78
5.15.9 Instalación de válvula de cierre.....	79
5.15.10 Instalación de válvula check.....	79
5.16 Valoración económica.....	80
5.16.1 Costo de los materiales para la construcción del cuerpo de la caldera.....	80
5.16.2 Costo de instrumentos y accesorios.....	81
5.16.3 Costo de mano de obra.....	82
5.16.4 Costo de investigación.....	82
5.16.5 Costos totales.....	82
6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
6.1 Valoración ambiental.....	84
6.2 Valoración social.....	84
7 CONCLUSIONES.....	86
8 RECOMENDACIONES.....	87
9 BIBLIOGRAFÍA.....	88

Caldero Pirotubular Horizontal

ANEXOS.....	89
Tabla de quemadores.....	90
Datos técnicos de los quemadores.....	91
Propiedades del agua saturada y vapor.....	92
Propiedades termofísicas del aire.....	93
Propiedades termofísicas del agua saturada.....	94
Espesores mínimos de aislamiento térmico.....	95
Eficiencias de soldadura.....	96
Coefficientes de emisividad.....	97
Coefficientes de conductividad térmica.....	98
Propiedades de los hidrocarburos.....	99
FOTOGRAFIAS.....	100
PLANOS.....	108



SIMBOLOGÍA

P = presión de diseño, lb/pulg²

P_o = presión de operación, lb/pulg²

n = coeficiente normativo

P_u = potencia útil, Kw

t_e = temperatura de entrada del agua fría, °C

t_p = temperatura de preparación, °C

t_u = temperatura de utilización, °C

G = gasto diario de vapor, l

Q_{Mp} = caudal medio en los períodos punta, l/s

h_p = duración de cada período que consideramos como punta, s

h_v = duración de cada período que consideramos como valle, s

H = tiempo del día en que se considera el funcionamiento de la caldera, s

H_p = tiempo total de períodos puntas, s

V = volumen de acumulación de la caldera, l

t = Espesor mínimo requerido, pulg

E = Eficiencia de soldadura

r_i = Radio interior del cilindro

S = límite de fluencia del material

Q_{ent} = caudal de entrada

Q_{sal} = caudal de salida

W_T = trabajo total

W_p = trabajo de la bomba

Q_{conv} = pérdidas por convección, W

Q_{rad} = pérdidas por radiación, W

h = coeficiente de convección, W/m²K

T_s = temperatura superficial, K

T_∞ = temperatura ambiente, K

g = gravedad, m / s²

R_a = número de Rayleigh

Pr = número de Prandtl

e = Espesor del aislamiento

e_{ref} = espesor mínimo de aislamiento

PCS = Potencia calorífica superior

P_{cal} = Potencia calorífica, Kcal

q_{sal} = Calor de salida, KJ/Kg

\dot{m} = gasto másico de agua, kg/hr

m_f = peso total de combustible quemado por hora, kg

G_t = límite de trabajo

G_e = límite elástico de soldadura

F_{max} = carga máxima resistente a la rotura

N_c = Número de pernos

F = Fuerza cortante aplicada en la tapa del caldero

Letras Griegas

β = Coeficiente de expansión, K^{-1}

ν = Viscosidad cinemática, m^2/s

α = difusividad térmica, m^2/s

σ_y = límite de fluencia

η = rendimiento del generador de vapor

ε = coeficiente de emisividad

σ = constante de Stefan Boltzmann

λ = Coeficiente de conductibilidad térmica

η = rendimiento del generador de vapor

k = conductividad térmica, $W / m K$



1. RESUMEN

Nuestro proyecto de investigación tiene como objetivo principal diseñar y construir un caldero, el cual nos permitirá observar los procesos de transformación de la energía calorífica mediante la combustión del diesel para la generación de vapor, el cual nos asentirá aplicar nuestros conocimientos y desarrollar habilidades y destrezas, en sistemas de generación de vapor. Por medio de la investigación, revisión de literatura, métodos y materiales, resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones.

Se realizó una compilación de información detallada, de cada uno de los contenidos teóricos necesarios para el desarrollo de ésta investigación; posteriormente se planteó el diseño adecuado en base a los modelos matemáticos, así mismo se auscultó sugerencias de profesionales sobre los principios y construcción de calderas piro tubulares.

Diseñado todas las partes constitutivas del caldero, se realizó la construcción del mismo y se efectuó pruebas de funcionamiento.

Se elaboró láminas de los componentes de la caldera en el software AUTOCAD, para finalmente comprobar con el funcionamiento de la máquina los parámetros propuestos, con ello concluimos nuestro proyecto de tesis.

SUMMARY

Our research project has a main objective to design and build a boiler cauldron, which allows us to observe the transformation processes of the heated energy through the diesel's combustion for the generation of steam, which allows us to apply our knowledge and develop our capacities and abilities, in systems of generation of steam. Through this research, literature review, methods and materials, results, discussions, conclusions and recommendations.

We did a compilation of detailed information of each one of the necessary theoretical contents for the development of this research work, later we planned on adequate design based on the math models, as well as we asked suggestions to professionals about the principles and building of pirotubular cauldrons.

Designed all the constituent parts of the cauldron, made its construction and performance testing.

Sheet was developed components of the boiler in the AUTOCAD software, and finally checked with the machine operating the proposed parameters, thus we conclude our thesis project.



2. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de tesis tiene la finalidad de presentar una metodología de selección, cálculo para el diseño y construcción de un caldero pirotubular horizontal para generación de vapor.

Las calderas pirotubulares tienen una alta eficiencia en la conducción en el flujo de calor en los tubos para obtener vapor, con las características de conducción y convección de calor se diseñan las partes constitutivas de la máquina tales como: longitud de la caldera, diámetro de la caldera, número de tubos, espesor de la chapa del cilindro, espesor de los espejos internos, espesor de las tapas externas, soldadura, de acuerdo a cálculos de diseño se seleccionan los accesorios complementarios como son: quemador, control de nivel de agua, bomba de abastecimiento de agua, presostato, termómetros, manómetro, circuitos de agua y de eléctricos, válvula de seguridad.

Obtenidos los resultados matemáticos del diseño de las partes constitutivas de la caldera pirotubular se procede a la tecnología de construcción en el cual tenemos los siguientes pasos:

- Seccionamos y rolamos la chapa para la elaboración del cilindro que servirá como camisa de la caldera que soportará la presión de trabajo de 30 psi.
- Cortamos y perforamos los espejos laterales internos donde se colocan los tubos.
- Seccionamos los 64 tubos, de 990mm de largo, 44,25mm de diámetro externo y de 3.8mm espesor.
- Fragmentamos un tubo 195mm de diámetro externo y de 1075mm de largo por 3.8mm de espesor, el mismo que nos sirve como hogar de la flama.
- Seccionamos las tapas planas circulares (frontal y posterior) de la caldera, donde se incorporará el quemador y el sistema de la chimenea respectivamente; en

Caldero Piro-tubular Horizontal

estas tapas se coloca el material refractario, y su ensamble deberá ser de manera hermética.

- Continuamos con el acople de las diferentes piezas mediante proceso de soldadura eléctrica por arco voltaico, mediante la utilización de electrodos E6011 y E7018.
- Soldamos los pernos en los extremos del cilindro y lo mismo hacemos en un extremo del cilindro en el que nos sirve como hogar de la flama, mediante una distribución simétrica, lo cual nos permitirá ensamblar de manera hermética las tapas de la caldera.
- Aplicamos una película de pintura anticorrosiva el exterior del caldero para evitar su oxidación.
- Realizamos pruebas hidrostáticas, para la comprobar si existen fisuras, en las juntas o soldaduras; para una mayor garantía de ello se hizo pruebas de presión hasta 80psi, aplicando agua y aire.
- Colocamos material aislante en el perímetro del cilindro de la caldera para evitar pérdidas de energía calorífica.
- Colocamos una lámina de tol galvanizado de $1/32$ que nos servirá para cubrir el material aislante y al mismo tiempo se lo aprovecha como acabado de la caldera.
- Empleamos como acabado final una película de pintura color gris martillado.
- Colocamos el sistema de quemador de la caldera.
- Instalación del circuito de alimentación de combustible (diesel) al quemador
- Instalamos el sistema de control del nivel de agua (McDonell), el cual nos servirá como indicador visual del nivel de agua., así mismo este mecanismo dará el mando de encendido y apagado de la bomba de agua.
- Ensamblamos la bomba de $1/2$ Hp e instamos el circuito de alimentación de agua para la caldera.
- Ubicamos e instalamos el presostato, este accesorio tiene dos parámetros de medición, a uno de ellos se lo calibra a la presión máxima requerida y el otro a la presión mínima, estas calibraciones nos darán la señal de apagado y encendido del quemador.



- Situamos el manómetro, dispositivo que servirá para lecturar la presión de trabajo de la caldera.
- Colocamos dos termómetros, para lecturar la temperatura del agua dentro de la cámara de la caldera y la temperatura del vapor en el interior de la cámara de vapor de la caldera.
- Ubicamos la válvula de seguridad, este accesorio se coloca en la parte superior de la caldera para evitar sobrepresiones.
- Instalación de los sistemas eléctricos y electrónicos.
- Pruebas de funcionamiento de la caldera

Luego de este proceso se realizó la primera prueba de funcionamiento y se obtuvo vapor, las temperaturas de entrada y de salida fueron las correctas, por lo cual el diseño de la caldera está dentro de los parámetros de funcionamiento y objetivos planteados.

2.1 Situación Problemática

A nivel mundial el proceso de transformación en los diferentes aspectos ha llegado a la superación, y a alcanzar métodos de producción de energía, para facilitar el trabajo del hombre, en las diferentes industrias y de esa manera conseguir mejor eficiencia, como el transporte y generación de energía. Tal es así, que la generación de vapor existe hace más de doscientos años. La podemos ver en cualquier lugar del mundo, consiste en transferir calor del combustible al agua, que se calienta hasta convertirse en vapor saturado, para luego ser utilizado en diversos procesos en las industrias.

El uso de energías alternativas, cada día cobra vigencia, la generación de vapor al ser tratada por estas vías, puede disminuir el uso de otras energías habituales como el petróleo, ya que la obtención del vapor puede hacerse por medio de los denominados biocombustibles, y su aplicación se da en varios campos como por ejemplo la generación de energía eléctrica.

El dispositivo principal para la generación de vapor es la caldera, a la cual aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporiza el agua.

Hasta principios del siglo XIX se usaron calderas para teñir ropa, producir vapor para limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual funcionaba durante corto tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura).

Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua, de cilindros verticales. Estas fueron las impulsadoras de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa hasta la actualidad.

Las calderas son simples, eficientes y fiables. Ningún equipo las supera transfiriendo calor de un lugar a otro. Actualmente las utilizamos en fábricas, planchadoras de ropa, lavaplatos, pasteurización de leche, esterilización de equipos médicos y hasta para la generación de electricidad. Sus capacidades parecen no tener fin.

En nuestro país aportaron en la transportación ferroviaria, así también en algunas centrales de generación de energía eléctrica, en nuestra localidad la generación de vapor se la utiliza en la planta procesadora de azúcar "MALCA", para la generación de vapor se utiliza el bagazo de la caña generado en la producción azucarera, el mismo que se lo aprovecha en un estado ya seco para la combustión, el vapor mueve una turbina esta transmite su torque a un generador para luego generar corriente eléctrica suficiente para abastecer a la planta, igualmente la generación de vapor es utilizado en el Hospital Civil Isidro Ayora para la cocción de alimentos, planchado, lavado, esterilización, etc.



2.2 Problemática

Hoy en día, el vapor de agua se emplea para generar energía, beneficiándose de los procesos físicos de la transformación del agua en estado líquido a gaseoso utilizando la energía calorífica a través de la combustión de los combustibles (sólido, líquido o gaseoso), por medio del uso de máquinas adecuadas y seguras para realizar estos procesos, el aprovechamiento del resultado producto de la transformación, se pueden constituir en energía eléctrica, mecánica, calorífica, etc., los mismos que el hombre los ha venido utilizando en las industrias para el desarrollo de la comunidad. Esto hace que las técnicas de generación y uso del vapor de agua se consideren importantes en el campo de la ingeniería electromecánica.

Como parte de la formación del Ingeniero Electromecánico, el estudio de la Termodinámica, Mecánica de Fluidos y Plantas de Vapor, ocupa un fundamental espacio dentro del proceso de enseñanza, aprendizaje, pero de momento solo se ha podido imbuir conocimientos teóricos al respecto, sin que el estudiante formado sea quien palpe los principios de cómo se dan en la realidad los diferentes fenómenos físicos, y procesos de transformación de la materia de manera directa, en la Carrera de Ingeniería Electromecánica es la evidente falta de laboratorios completamente equipados, conlleva a la formación de vacíos en el aprendizaje de los estudiantes en las aulas de nuestra alma mater, nuestro deber como estudiante durante el proceso de formación académica superior, es ampliar los conocimientos a través de la investigación, observación, entrevistas, etc..

En séptimo módulo tuvimos la oportunidad de construir un banco para generación de vapor en la materia de termodinámica, este trabajo modular nos permitió ampliar nuestros conocimientos en lo que tiene relación con transferencia de calor y equipos de generación de vapor, con esta experiencia nos afirmó el criterio de elegir nuestro tema de tesis: ***“Diseño y Construcción de un Caldero de 7,5 BHP para Generación de Vapor”***.

Con el desarrollo de nuestro proyecto de Diseño y Construcción nos permitirá demostrar que el egresado de la Carrera de Electromecánica está en capacidad de construir equipos para Generación de Vapor, y elaborar un texto guía de los diferentes contenidos de manera sencilla, y de fácil comprensión, los que servirán para que los estudiantes se familiaricen con las partes constitutivas de la caldera pirotubular de tubos rectos de tres pasos de construcción horizontal.

Por lo expuesto anteriormente, nuestra investigación está destinada a resolver el siguiente problema:

2.3 Problema general de Investigación

“Limitada práctica en el desarrollo de habilidades y destrezas para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la UNL”

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

Diseñar y Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor, a través del cual podamos desarrollar las suficientes habilidades y destrezas, para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor.

2.4.2 Específicos

- Obtener a través de la investigación y la recopilación bibliográfica, toda la información requerida, para el Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor.
- Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor.
- Socializar el trabajo de investigación a lo interno de la Universidad Nacional de Loja, y con los actores del medio externo.



2.5 HIPOTESIS

2.5.1 General

Es factible la construcción de un Caldera de 7.5 BHP para Generación de Vapor, el mismo que nos permita reafirmar los conocimientos y demostrar nuestras habilidades y destrezas en la selección de explotación de sistemas de generación de vapor.

2.5.2 Especificas

- Mediante la investigación, el análisis y la síntesis se logrará conocer acerca del Diseño y Construcción de un Caldero.
- Es factible construir un Caldera que demuestre el principio de Generación de Vapor.
- Mediante la socialización de nuestro trabajo daremos a conocer la importancia de la transformación de la energía, el proceso de generación del vapor y su utilización en la industria moderna.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Conceptos Fundamentales

3.1.1 Energía

3.1.1.1 ¿Qué se entiende por energía?

El vocablo energía procede de las palabras griegas **en**, que significa contenido y **ergon**, trabajo. Así, al unir ambas palabras surge el término **energía**, que significa trabajo contenido en los cuerpos.

Energía es la capacidad que tienen los cuerpos o sistemas para realizar un trabajo. Entendiéndose aquí al trabajo, expresamente como se lo define en la Física.

De una manera más completa se puede decir que:

La energía caracteriza la capacidad de los cuerpos o sistemas para cambiar sus propiedades, ya sea que se produzcan los cambios mediante la realización de trabajo, el calentamiento, enfriamiento o por radiación.

3.1.2 Principales formas de energía

3.1.2.1 Energía cinética

Cuando un cuerpo se mueve con cierta velocidad respecto a otro, puede cambiar o modificar el estado de este o de otros cuerpos. Por eso decimos que un cuerpo en movimiento posee energía y, a esta forma de energía se le denomina **energía cinética**. Los cuerpos poseen energía cinética no sólo cuando se desplazan en línea recta, sino también cuando describen trayectorias curvilíneas, vibran o efectúan un movimiento rotacional. El término energía cinética se refiere no solo al movimiento de los cuerpos como un todo, sino además al movimiento de sus átomos y moléculas.

3.1.2.2 Energía potencial

El término energía potencial describe la energía de un cuerpo debido a su posición en un campo de fuerzas, como por ejemplo el campo gravitatorio o el electrostático.

La energía potencial se denota por las letras E_p . Un ejemplo de cuerpo que posea



energía potencial, en este caso energía potencial gravitatoria, son las aguas que están en un estanque elevado a cierta altura.

La energía mecánica es igual a la suma de las energías potencial y cinética de los cuerpos que integran un sistema.

3.1.2.3 Energía radiante

La tercera forma básica en que se manifiesta la energía es la **radiante**. Aquí se pueden mencionar como ejemplos tanto la energía de la radiación solar y de otros cuerpos estelares, gracias a la cual se sostiene la vida en nuestro planeta, como la energía de la radiación infrarroja que emana de un bombillo incandescente, o la radiación electromagnética emitida por la antena de una emisora de televisión o de radio.

3.1.2.4 Energía calorífica o calor

Es la energía en transición (en movimiento) de un cuerpo o sistema a otro, únicamente causado por la diferencia de temperatura entre los cuerpos o sistemas. El calor puede ser entendido como la medida de la energía interna (energía mecánica más energía potencial de las moléculas o átomos que conforman los cuerpos) que poseen los cuerpos

3.1.3 Principios de la energía: transformación, conservación degradación

El Principio de conservación de la energía indica que: la energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma de unas formas en otras. En estas transformaciones, la energía total permanece constante; es decir, la energía total es la misma antes y después de cada transformación.

En el caso de la energía mecánica se puede concluir que, en ausencia de rozamientos y sin intervención de ningún trabajo externo, la suma de las energías cinética y potencial permanece constante. Este fenómeno se conoce con el nombre de Principio de conservación de la energía mecánica.

3.1.3.1 Degradación de la energía

Unas formas de energía pueden transformarse en otras. En estas transformaciones la energía se degrada, pierde calidad. En toda transformación, parte de la energía se convierte en calor o energía calorífica.

Cualquier tipo de energía puede transformarse íntegramente en calor; pero, éste no puede transformarse íntegramente en otro tipo de energía. Se dice, entonces, que el calor es una forma degradada de energía. Son ejemplos:

La **energía eléctrica**, al pasar por una resistencia.

La **energía química**, en la combustión de algunas sustancias.

La **energía mecánica**, por choque o rozamiento.

Llamamos energía a la capacidad que tiene un cuerpo para producir un trabajo o provocar un cambio, la energía se nos puede presentar de diferentes formas, entre las más importantes podemos mencionar: cinética, potencial, mecánica, eléctrica, química, calorífica, eólica, solar, nuclear, etc.

3.1.4 Evaporación

Es el cambio físico de la fase líquida a la fase de vapor, que tiene lugar exclusivamente en la superficie libre del líquido. Ejemplo: la evaporación del agua en el mar.

3.1.5 Ebullición

Es el proceso físico en el que un líquido pasa a estado gaseoso. La ebullición de un líquido tiene lugar a una determinada temperatura, cuyo valor depende de la presión a la que está sometido el líquido, mientras mayor sea la presión mayor será la temperatura.

3.1.6 Condensación

Es el proceso de cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida a la misma temperatura.

3.1.7 Temperatura



Es la escala o medida de la cantidad de energía térmica conservada por un objeto en un determinado tiempo.

3.1.8 Calor

Es la transferencia de energía de un cuerpo ó sistema a otro, esto se da, cuando se hallan diferencias de temperatura entre los cuerpos o sistemas.

Existen tres tipos de calor que se encuentran presentes en los procesos físicos y estos son:

- Calor Sensible
- Calor Latente
- Calor Total

3.1.8.1 Calor Sensible

Se entiende por sensible, el calor que produce una elevación de temperatura en un cuerpo, sin que se realice un cambio de fase o de estado.

3.1.8.2 Calor Latente

Se comprende por calor latente, la cantidad de calor que produce un cambio de estado (o fase) en un cuerpo a una temperatura constante, o sea sin que haya en ese momento variación de temperatura.

3.1.8.3 Calor Total

Es la suma del calor sensible más el calor latente.

3.1.9 Combustión

Es la reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de luz y calor; en toda combustión existe un elemento que arde (combustible), y otro que produce la combustión (oxígeno o carburante), que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

3.1.10 Transferencia de calor

Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura, la transferencia de calor proporciona los métodos de análisis que se pueden utilizar para determinar la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo.

El calor puede transferirse de un punto a otro por tres métodos distintos: radiación, convección y conducción.

3.1.10.1 Conducción

Es el proceso de transferencia de calor que se produce por contacto térmico entre dos o más cuerpos, que están contacto directo entre las partículas individuales de sus cuerpos que están a diferentes temperaturas.

En general, los sólidos conducen calor mejor que los líquidos y los líquidos mejor que los gases. Esto se explica debido a la diferencia de estructura molecular, puesto que las moléculas de un gas al encontrarse muy separadas, la transferencia de calor de molécula a molécula se torna más difícil.

Tenemos muchos ejemplos de conducción de calor en la operación de una planta a vapor y entre ellos tenemos el calor de los gases (producto de la combustión) dentro del hogar que llega hasta el agua dentro de la caldera por conducción a través de las paredes metálicas de la caldera y finalmente calienta el agua que está en contacto con el interior de estas paredes.

3.1.10.2 Convección

Es la transferencia de calor por circulación dentro de un fluido cuando parte de éste se calienta, la parte caliente se expande y queda más liviana que el resto del fluido.



Como resultado la parte más pesada, o sea, el volumen de fluido que no se ha calentado tiende a hundirse, y la cantidad de fluido que se ha calentado sube, produciéndose una circulación continua del fluido.

3.1.10.3 Radiación

Es el proceso por el cual se transmite el calor a través de ondas electromagnéticas, en forma de ondas similares a las ondas de la radio y de la luz, estas pasan libremente por el aire y otras materias transparentes sin efecto aparente en ellas; algunas superficies reflejan las ondas de calor igual que reflejan luz.

En ningún sistema de producción de calor se puede decir que la transferencia de calor se efectúa por un método en particular, más bien que se efectúa por una combinación de los tres, predominando alguno de ellos de acuerdo al tipo o naturaleza de la aplicación.

3.1.11 Presión

Es una magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la que actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la unidad de superficie.

3.1.11.1 Presión Atmosférica

El aire que nos rodea (la atmósfera) ejerce una presión en todas las direcciones, sobre todas las superficies de los cuerpos; esta presión es la que se conoce como "Presión Atmosférica".

La presión atmosférica puede ser expresada en diferentes unidades de medida y entre ellas existe una equivalencia para efectos de conversión de unidades; así tenemos que:

$$1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ mm Hg.} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2 = 14.7 \text{ lbs/plg}^2 = 1.013 \text{ Bar}$$

Si se tiene un recipiente con agua al cual se le añade calor a medida que éste se incrementa se empezará a producir vapor.

Ahora, volviendo al caso de la caldera, por ser ésta un recipiente cerrado, cuanto más vapor se genera dentro de este recipiente, más espacio necesita, por lo tanto debe comprimirse. Por este motivo, el vapor se expande en todas las direcciones y ejerce presión sobre todo lo que lo rodea. Así, además de ejercer presión sobre las paredes de la caldera, el vapor ejerce la misma presión sobre la superficie del agua. Cuando aumenta la presión sobre la superficie del agua, aumenta al mismo tiempo la temperatura.

Mientras que a la presión atmosférica el agua hierve cuando alcanza la temperatura de 100°C , en cambio si la presión aumenta a 8 Kg. /cm^2 , el punto de ebullición del agua se eleva a 170°C .

Ahora, aclarando algunos conceptos sobre presión se tiene lo siguiente:

3.1.11.2 Presión Manométrica

Es la presión que está dada mediante un dispositivo que nos permite lecturar la presión de trabajo al interior de la caldera, a través de un elemento denominado manómetro (figura 3.1).

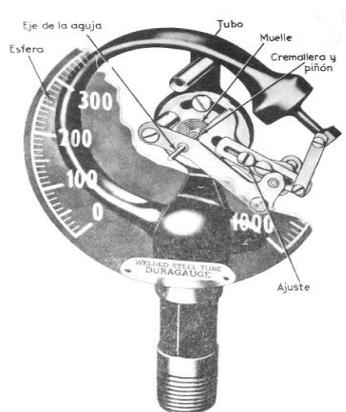


Fig. 3.1 Manómetro

3.1.11.3 Presión Absoluta

Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica.

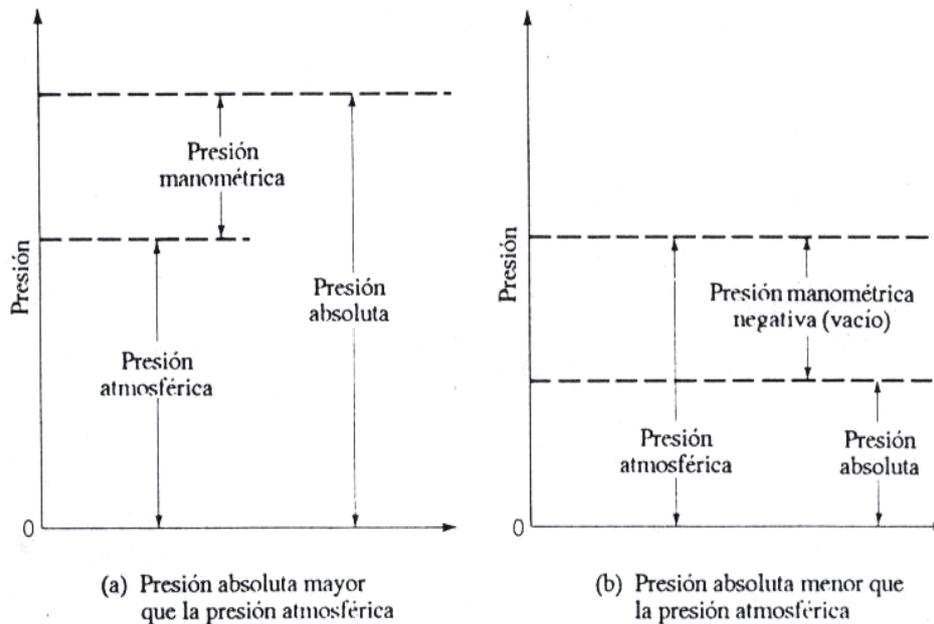


Fig. 3.2 Relaciones entre presión absoluta, presión atmosférica, presión manométrica y presión de vacío

3.1.12 Vapor

3.1.12.1 Vapor saturado

El vapor en las calderas se mantiene a la misma temperatura que el agua hirviendo en ellas, este vapor contiene una pequeña cantidad de humedad y se llama vapor saturado.

La humedad del vapor saturado consiste en pequeñísimas gotitas de agua suspendidas en el vapor. Este vapor saturado es el que usan la mayor parte de las calderas industriales que existen en nuestro país; puesto que es usado principalmente como medio de calentamiento.

3.1.12.2 Vapor Recalentado

El vapor saturado se lo pasa por ciclo o proceso de recalentamiento eliminando las partículas de agua y de esta manera se obtiene el vapor completamente libre de humedad. A éste vapor se lo conoce con el nombre de vapor recalentado o sobrecalentado

3.1.12.3 Producción de Vapor

Se entiende por producción de vapor la cantidad de Kg/h o de lb/h de vapor equivalente producido por una caldera. En las calderas grandes generalmente, se usa esta denominación para expresar su capacidad de generación de vapor. La unidad de equivalencia es BHP (Caballos Caldera).

1BHP= 33472 Btu/h =9.803 Kw.

El término caballo-caldera es una denominación antigua, pero que todavía se aplica para especificar la capacidad de calderas pequeñas, teniendo su origen en el hecho que una caldera al alimentar una máquina de vapor alternativa, ésta desarrollaba aproximadamente 1 BHP por cada 10 pies² (1m²) de superficie de calefacción de la caldera.

3.1.12.4 Importancia de las aplicaciones del vapor

De las innumerables aplicaciones que tiene el vapor, éstos se pueden resumir en dos grupos:

- Generación de Poder
- En Procesos Industriales

De la primera aplicación, por ejemplo, el vapor es obtenido en grandes calderas y destinado a mover turbinas, las cuales a la vez mueven un generador, el que proporciona energía eléctrica, el vapor así utilizado es vapor recalentado.

Mientras que el vapor en procesos industriales tiene aplicaciones diversificadas, tales como para calefacción, para secar pasta de papel, cocinar alimentos, esterilizado, calentamiento de agua, etc., el vapor utilizado en estos procesos es vapor saturado.

3.1.13 Generación de vapor

3.1.13.1 Principios básicos sobre generadores de vapor

Las máquinas térmicas transforman la energía en la siguiente frecuencia de flujo.



La Energía química: Es aquella que libera el combustible (diesel, gas) al ser quemado en el hogar de la caldera y la convierte en Energía Térmica.

La energía térmica: es aquella que se transfiere al agua para generar vapor.

La transferencia de energía de un cuerpo a otro por diferencia de temperaturas es lo que se conoce como "Calor".

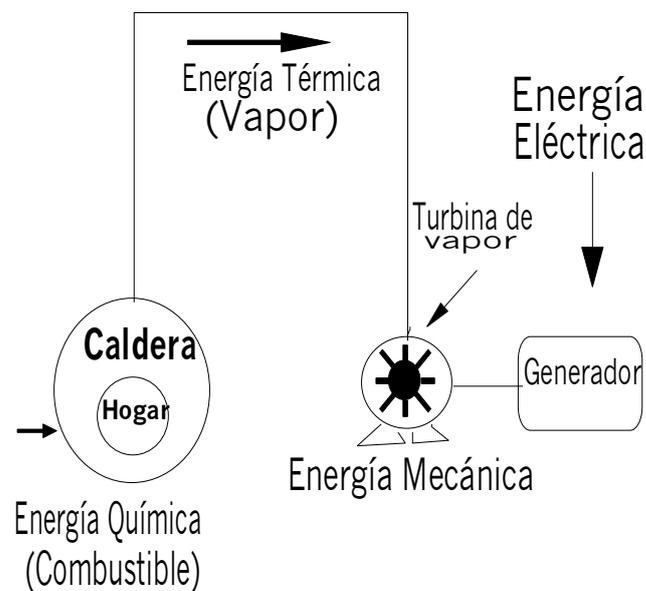


Fig. 3.3 Conversión de energía

3.1.13.2 Clasificación de las máquinas según su forma de combustión

Las máquinas térmicas necesitan en general una fuente de generación de calor y esta fuente la constituye la combustión.

Según la forma como se realiza la combustión las máquinas térmicas se clasifican en:

- Máquinas de Combustión Interna
- Máquinas de Combustión Externa

Las de combustión interna son aquellas en cuyo interior se produce la combustión de una manera directa (energía química a energía mecánica). A este grupo pertenecen:

- Motores diesel, motores de gasolina y turbinas de gas

En las máquinas de combustión externa no se produce una conversión directa de energía. A este grupo pertenecen las siguientes:

- Calderas, maquinas alternativas, turbinas de vapor y motores stirling.

3.2 Calderas de vapor

Las Calderas o Generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

La máquina elemental de vapor “marmita” fue inventada por Dionisio Papín en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua, de cilindros verticales. Ella fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúan hasta la actualidad.

En ese entonces se usaban las máquinas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, etc. Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

Máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años como agente motor, pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas. Entre sus desventajas encontramos la baja velocidad y (como consecuencia directa) el mayor peso por KW de potencia, necesidad de un mayor espacio para su instalación e inadaptabilidad para usar vapor a alta temperatura.



Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras de carga como de pasajeros. Vemos una caldera multi-tubular con haz de tubos fijos, preparada para quemar carbón o lignito. El humo, es decir los gases de combustión caliente, pasan por el interior de los tubos cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos.

Para medir la potencia de la caldera, y como dato anecdótico, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie/minuto o sea 550 libras-pie/seg., valor que denominó HORSE POWER, potencia de un caballo.

Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo más de 76 kgm/seg. Pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.

3.2.1 Clasificación de las calderas:

Al hacer la clasificación de las calderas, se trata de establecer las principales características distintivas de los diversos tipos de instalaciones que se necesitan para obtener vapor. Sin embargo, es necesario aclarar que al señalar a una caldera en una clasificación determinada, como por ejemplo, sea del tipo acu-tubular, esto no implica de que no pueda estar identificada con otra u otras clasificaciones, siguiendo con el mismo ejemplo, esta caldera también se la podría señalar como: con tubos, de tubos rectos, de tres pasos, de circulación forzada, de alta presión, de energía química, de búnker, etc.

De esta forma, se podría establecer la clasificación de la caldera bajo las siguientes bases:

- por la energía consumida
- por la disponibilidad de los tubos
- por la situación relativa de los espacios de combustión y agua

- por los métodos de circulación de agua
- por la presión de trabajo
- por el número de pasos o retornos
- por la disposición de los tubos
- por la posición de las calderas

El tipo de caldera a diseñar y construir es de tipo tubular horizontal.

3.2.1.1 Por la energía consumida

De acuerdo a esta clasificación, se tiene:

- Energía Eléctrica, (calderas eléctricas)
- Energía Química.

Por energía química se entiende al combustible (como elemento químico) que quemaría una caldera para generar vapor y según el tipo de combustible, la clasificación sería la siguiente:

- Bunker
- Diesel 2
- Diesel 1
- Gas Natural
- Bagazo de caña de azúcar

3.2.1.2 Por la disponibilidad de los tubos

En esta clasificación se encuentran las calderas:

- sin tubos, y
- con tubos

Las calderas sin tubos, llamadas así, porque para su funcionamiento carecen de tubos en su construcción.



Esta innovación en la construcción de calderas presenta muchas ventajas en su rendimiento, durabilidad y operación económica, además que es completamente automática, se la encuentra en modelos que van de 1.2 a 80 Hp. Según sea el requerimiento del usuario. Existen actualmente las calderas sin tubo fabricadas por marcas reconocidas como York Shipley y Fulton.

Las calderas con tubos, corresponden a las que encontramos normalmente en la industria, y que se verán en todos los tipos de calderas que se describan en las demás clasificaciones.

3.2.1.3 Por los métodos de circulación de agua

Las calderas de tubos de agua se clasifican según los métodos de circulación del agua contenida, de la siguiente manera:

- Circulación Natural (limitada)
- Circulación Forzada

La designación *Circulación Natural*, se aplica a todas las calderas en las cuales la circulación del agua a través de los circuitos de la caldera, depende únicamente de la diferencia de densidades entre un cuerpo que desciende que es el agua relativamente fría, y de otro cuerpo que asciende que es el agua caliente, que contiene burbujas de vapor. La cantidad de agua de alimentación suministrada es siempre igual a la cantidad de vapor generado.

La *Circulación Forzada*, son efectuadas por medio de bombas externas a las calderas, que mantienen un flujo continuo de agua a través de los circuitos de la caldera. En la caldera de circulación forzada, mayor cantidad de agua es bombeada a través de los circuitos que la que se transforma en vapor. En una caldera de circulación forzada (de un solo paso), la cantidad de agua de alimentación bombeada dentro de los circuitos es la misma que la cantidad de vapor extraída.

3.2.1.4 Por la presión de trabajo

Según la presión de trabajo las calderas se clasifican en:

- Calderas de alta presión
- Calderas de baja presión

Las calderas de Alta Presión son generalmente usadas cuando las demandas de vapor son extremadamente grandes y sobre todo cuando hay requerimiento indispensable de vapor recalentado; estas calderas generalmente son del tipo de tubos de agua (acuaturbular) y operan a presiones superiores a 20 Kg/cm^2 ; o sea superiores a 284.4 l/plg^2 . Su uso principal es en plantas eléctricas que operan con turbinas a vapor.

Las calderas de baja presión son en cambio las más usadas en el campo industrial y generalmente operan con vapor saturado a presiones del orden de $7-8 \text{ Kg/cm}^2$, cierto número llega a los 10 Kg/cm^2 y unas pocas a 18 Kg/cm^2 , pero sin sobrepasar este último valor. En este grupo de calderas se encuentran generalmente las calderas construidas de tubos de fuego llamadas (Pirotubulares).

3.2.1.5 Por el número de pasos o retornos

Se comprende por pasos en una caldera el trayecto que recorre la energía calorífica proveniente del hogar hacia perímetro externo donde tiene contacto con el agua, (calderas acuaturbulares) o el recorrido de la energía calorífica por los ductos de los tubos de fuego, teniendo en consideración el número de pasos que está construida la caldera, en cada paso cambia la dirección de flujo (calderas pirotubulares). De acuerdo con este criterio, las calderas se clasifican en:

- Un paso
- Dos pasos
- Tres pasos
- Cuatro pasos

Las calderas industriales de amplia aceptación en la actualidad, para producción de vapor saturado con presión de hasta 18 Kg/cm^2 , son calderas de tres y cuatro pasos.



En el caso de las calderas sin tubos, se entiende que paso sería la circulación de los gases a través de las nervaduras con cambio de dirección de flujo.

En el caso de las calderas de tres pasos, se obtiene el 60% de eficiencia en el hogar con cada uno de los pasos restantes contando el 20%. Este tipo de calderas tienen el cilindro que conforma el hogar se ubica por lo regular en el centro con referencia al perímetro de la camisa, esta ubicación permite que los sedimentos sólidos no se adhieran en la parte exterior del cilindro del hogar, los tubos que conforman el haz de tubos son de igual diámetro y longitud tienen igual tensión y presión en los espejos laterales.

Mientras que en el caso de las calderas de cuatro pasos, se obtiene el 40% de eficiencia en el cilindro del hogar, y el 60% resulta en el pase por haz que corresponden los tres pasos restantes. Este tipo de calderas tiene el hogar de menor diámetro con relación a las calderas de dos y tres pasos, una denotación que es propia de este tipo de caldera es que el lecho del hogar de fuego se ubica en la parte inferior del centro con relación a la circunferencia del cilindro de la caldera.

3.2.1.6 Por la disposición de los tubos

A las calderas también se las puede clasificar por la disposición de los tubos, así:

- de tubos rectos
- de tubos inclinados
- de tubos curvos

3.2.1.7 Por la posición de los calderos

En este aspecto podríamos incluir solamente a las calderas piro tubulares, las cuales se clasificarían según su posición en el piso sobre el cual van montadas en:

- verticales
- horizontales

3.2.2 Calderas pirotubulares horizontales

3.2.2.1 Generalidades

Las calderas pirotubulares horizontales también conocidas como calderas de tubo de fuego, se caracterizan por generar vapor saturado que es ampliamente utilizado en la mayoría de las industrias en la actualidad, siendo las más conocidas aquellas que funcionan con quemadores de diesel o bunker.

3.2.2.2 Partes constitutivas de la caldera pirotubular horizontal

Las calderas de vapor, fundamentalmente constan de las siguientes partes:

3.2.2.2.1 La coraza

Es un cilindro construido de chapa de acero dentro del cual se encuentran alojado de manera integral la cámara de agua, la cámara de vapor, el hogar y el haz de tubos.

3.2.2.2.2 Cámara de agua

Se denomina al espacio que ocupa el volumen de agua en el interior del cilindro de la caldera.

3.2.2.2.3 Cámara de vapor

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separar el vapor del agua. Cuanto más sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de la cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor

3.2.2.2.4 El hogar o cámara de combustión

Es en esta parte de la caldera en donde se realiza la reacción química del combustible (combustión) lo cual produce la liberación de la energía del combustible que se transferirá al agua. El hogar debe de tener la longitud suficiente y el diámetro apropiado para asegurar que exista una total combustión del combustible que se está utilizando para obtener una eficiencia mayor del equipo.



3.2.2.2.5 El haz de tubos

Está compuesto por múltiples tubos de menor diámetro que el hogar, por los cuales ya solo circulan productos de combustión a altas temperaturas a la entrada del haz. Lo que se hace en esta parte de la caldera es capturar la mayor parte de la energía de dichos gases calientes para pasarlos finalmente, al igual que en el hogar, al agua que está en la parte exterior de los tubos. Es importante indicar que en muchas de las ocasiones los gases calientes se hacen pasar más de una vez en el agua de la caldera, esto se debe a que hay que aprovechar al máximo la energía que aún se encuentra en los gases calientes para así lograr una mayor eficiencia en el equipo. Esto se lo logra colocando otro haz, con menor número de tubos que el paso anterior, para tratar de mantener la misma tasa de transferencia de calor, obteniendo un coeficiente convectivo interior un poco más elevado que el paso anterior a pesar de que la temperatura de los productos de combustión se vean disminuidos. Con esto se logra extraer la mayor cantidad de energía disponible de los productos de combustión hasta obtener temperaturas de salida de los mismos alrededor de 250°C que es un parámetro normal para calderas que están bien diseñadas. Se debe destacar que el hogar es considerado como el primer paso de la caldera y luego se cuentan los haces de tubos existentes. Generalmente las calderas piro-tubulares horizontales son de 2, 3 y hasta 4 pasos.

3.2.2.2.6 Tapas

Toda caldera piro-tubular tiene una tapa frontal y una tapa posterior que sirven para poder acceder a los espejos para el mantenimiento y limpieza de los tubos de la caldera; generalmente las tapas se encuentran empernadas. En la tapa frontal es donde está incorporado el quemador mientras que en el fondo de la tapa posterior se coloca material refractario ya que estará sometida a altas temperaturas. Usualmente en las tapas se encuentran desviadores que sirven para separar el flujo de productos de combustión de cada uno de los pases de la caldera del segundo en adelante en caso de tener más de dos pases.

3.2.2.2.7 Chimenea

Es ubicada en la tapa posterior, por donde salen los productos de combustión hacia el medio ambiente.

3.2.2.2.8 Quemador

Es el dispositivo de la caldera que genera la llama que provocará la liberación de energía del combustible atomizado. Generalmente los quemadores de las calderas son de llama turbulenta no premezclada, es decir, que a la zona donde se está generando la llama llega por separado el aire y el combustible.

3.2.2.2.9 Bomba de alimentación

Tiene la función de alimentar de agua al interior de la caldera desde el tanque reservorio, elevando la presión igual o mayor a la presión de operación de la caldera.

En la figura a continuación se puede mostrar de una manera más clara, comprensible y detallada las partes constitutivas de una caldera piro-tubular horizontal:

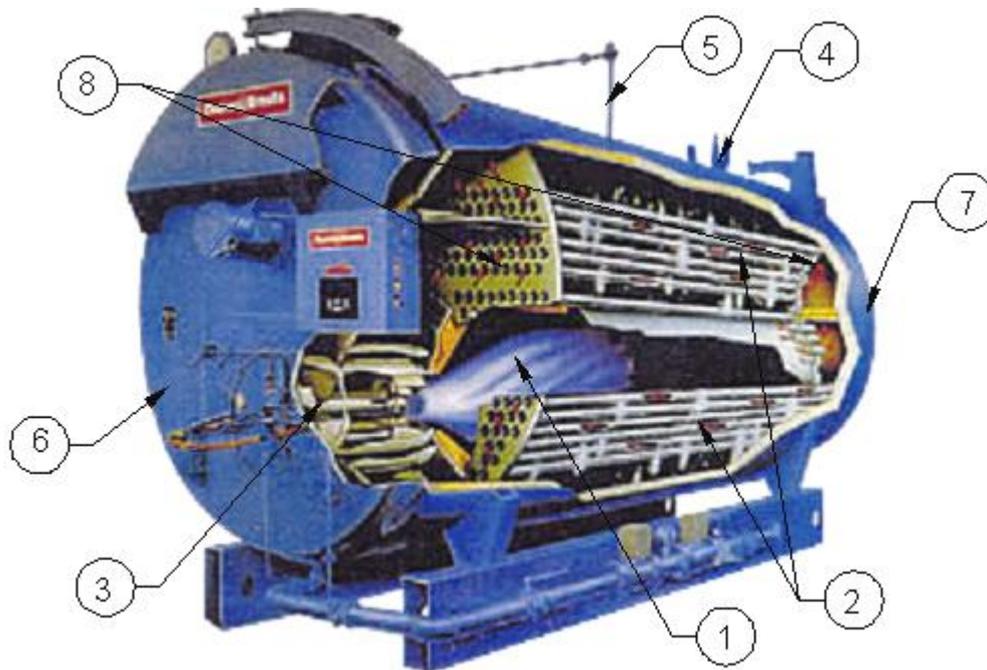


Fig. 3.5 Partes principales que constituyen las calderas piro-tubulares horizontales

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Hogar | 2. Haz de tubos |
| 3. Quemador | 4. Válvula de seguridad |
| 5. Conexión para control de nivel de agua | 6. Tapa frontal |
| 7. Tapa posterior | 8. Espejos interiores |



3.2.2.3 Dispositivos de control y seguridad

Son aquellos que garantizan el correcto funcionamiento del equipo.

A continuación se mencionan algunos de ellos:

- Control de nivel de agua (McDonnell).
- Control de presión (Presostato).
- Válvula de seguridad.
- Manómetro de presión.
- Medidores de temperatura.

3.2.2.3.1 Control de nivel de agua (McDonnell).

Elemento de control de agua dentro de caldera el mismo que está diseñado para emitir señales cuando los niveles de agua se encuentre bajos, esta señal da arranque a la bomba de agua, para alimentar de líquido al caldero, este elemento está previsto de un visor de tubo de vidrio el cual nos permite constatar de manera física el nivel real del agua.

3.2.2.3.2 Control de presión (Presostato)

Dispositivo de seguridad al mismo que se regula de acuerdo a la presión de trabajo que se requiera.

3.2.2.3.3 Manómetro de presión

Es un indicador que nos permite visualizar la presión de trabajo al interior de la caldera. El conocimiento de esta presión es necesario desde el punto de vista de seguridad.

3.2.2.3.4 Válvula de seguridad

La misión de la válvula de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de trabajo para la cual se ha proyectado y construido, es decir, que protege a la caldera de presiones excesivas.

Toda caldera debe estar equipada con una válvula de seguridad, que funcione con absoluta confianza.

3.2.2.4 Accesorios complementarios

Para el ensamblaje de los sistemas de control, circuitos de agua y de vapor, circuito de alimentación de combustible, circuito eléctrico, se utilizaron accesorios y materiales:

Codos, uniones, universales, tees, neplos, teflón, tubo cedula 40 sin costura, acoples, válvula chek, cortadoras, material aislante.

3.2.2.5 Funcionamiento

Cuando se va a poner en funcionamiento una caldera pirotubular hay que tener en cuenta de que la caldera debe de estar llena hasta donde indique el visor de nivel ya que si no es así el control de nivel (McDonnell) impedirá que el quemador de la caldera se encienda mandando a prender la bomba de alimentación de la caldera hasta alcanzar el nivel de agua adecuado. Una vez que se tiene llena la caldera de agua, el control de nivel abre un circuito que hará que la bomba de alimentación de la caldera se apague y cierra otro circuito que hará que el quemador se encienda automáticamente. El quemador tiene una fotocelda la cual es capaz de sensar cuando no existe llama para mandar a apagar la bomba de combustible y el ventilador del quemador. Una vez que se ha logrado encender el quemador, la caldera debe de ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de ebullición y por ende elevar la presión dentro de la misma. Dicha presión, que no es más que la presión de operación de la caldera, se la debe de establecer en el presostato la presión de trabajo interna en la caldera, mismo que nos sirve como controlador, envía la señal de apagar automáticamente el quemador cuando la presión llega al valor preestablecido. Dicho equipo de control permite establecer una variación de presión determinada sobre y por debajo de la presión de operación de la caldera, por lo que cuando el equipo se encuentre generando vapor de una manera continua (estado estable), la presión se encontrará variando entre el valor máximo y mínimo que se haya establecido en el controlador de presión para lo cual se requiere estar enviando automáticamente a encender el quemador cuando la presión es la mínima y apagar cuando la presión es la máxima. En caso de que este controlador de presión falle, en la parte superior de la caldera se encuentran válvulas de seguridad que



están reguladas a la presión de diseño de la caldera las cuales se abren cuando dicha presión se ha sobrepasado. Es importante indicar que las calderas pirotubulares solo pueden generar vapor saturado. Una vez que el equipo se encuentra generando vapor, de una forma continua o no, será necesario reponer el agua que se está consumiendo y es aquí cuando entra en operación por segunda vez control de nivel de agua. Si el nivel de agua baja de manera moderada, este cierra el circuito que energiza la bomba de alimentación de la caldera para reponer el agua. Durante este proceso el quemador no queda desenergizado, esto quiere decir que si se encontraba encendido cuando se activó la bomba de alimentación se mantendrá encendido durante todo el proceso de reposición de agua. Caso contrario se da cuando el nivel de agua de la caldera cae por debajo de un límite mínimo preestablecido, ya que en este caso no solo que se encenderá la bomba de alimentación sino que se apagará automáticamente el quemador de la caldera.

Todo el proceso descrito anteriormente lo realiza la caldera durante todo el tiempo que este equipo se encuentre operando hasta ser apagado.

3.2.2.6 Aplicaciones

La aplicación de las calderas pirotubulares tiene un campo muy amplio ya que el vapor es necesario en la mayoría de los procesos térmicos entre los cuales tenemos los siguientes campos:

- Fábricas de concreto prefabricado, los concretos necesitan ser metidos en hornos para su procesamiento correcto para tratar de mantenerlos a una temperatura entre 60°C y 70°C.
- Industria alimenticia, los alimentos son cocidos usualmente en recipientes llamados marmitas a una presión de 60 psi. Se debe de alcanzar temperaturas de aproximadamente 106°C para lograr evaporar un 20% de su contenido de agua.
- Cremerías, las chaquetas de vapor para la elaboración de crema y queso requieren una presión de vapor de 100 psi y un calentamiento aproximado de 15°C a 40°C.

Caldero Piro-tubular Horizontal

- Papeleras, en este proceso se requiere secar el papel en tambores rotativos calientes. La presión de vapor aproximada en estas máquinas es de 180 psi.
- Plantas de asfalto, para calentar el asfalto de 149°C a 155°C generalmente se necesita vapor a una presión aproximada de 125 psi.
- Equipos de hospitales, se utiliza vapor de alta presión para los esterilizadores. También se la utiliza para obtener agua caliente.
- Tintorerías, el vapor proveniente de la caldera debe de fluir por el fondo de los tanque del tinte para calentar el mismo y se debe de agitarlo a fin de mezclarlo completamente.
- Industria química, se utiliza vapor para la mayoría de los procesos para la obtención de los medicamento



4. MÉTODOS Y MATERIALES

4.1. Presión de operación

Es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

4.2 Presión de diseño

Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, dicho valor será el siguiente¹:

Si $P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2$

$$P = 1.1 \times P_o \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Si $P_o \leq 300 \text{ lb/pulg}^2$

$$P = P_o + 30 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Dónde:

P = presión de diseño, lb/pulg^2

P_o = presión de operación, lb/pulg^2

4.3 Coeficiente normativo²

Se recomienda en plantear tres coeficientes parciales de seguridad.

(n₁) es el coeficiente que considera el error posible al determinar las cargas y las tensiones. Cuando las tensiones se calculan con gran precisión, este coeficiente se puede señalar igual a (1.2 - 1.5).

(n₂) En el diseño de aparatos a presión, en la norma AD-Merkblätter en el cálculo de espesores de chapas de aparatos a presión, se aplica un coeficiente de seguridad de 1,50

¹ Fuente: León Estrada Juan, "Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión", capítulo 1

² Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad

para presiones de diseño, y un coeficiente de seguridad de 1,10 para presiones de prueba. La tensión que toma la mencionada norma para los cálculos es la tensión de fluencia del material a la temperatura de trabajo. En este caso usamos el método 2, o sea, reducir la tensión a utilizar en los cálculos.

(n3) En el caso del dimensionamiento de la pared de una tubería se suele aplicar, entre otros, un coeficiente de seguridad por corrosión del orden de 1,2. Al resultado del cálculo del espesor se lo multiplica por 1,2, obteniéndose un espesor mayor.

$$n = (n1) (n2) (n3) \qquad \text{Ecuación (4.3)}$$

4.4 Potencia de diseño de la caldera

En estos sistemas se llaman temperatura de preparación t_p a la temperatura máxima que alcanza el agua dentro de la caldera, ésta es mayor que la temperatura de utilización t_u (o de salida hacia la distribución), debido a que aquella, con motivo del gasto; se mezcla en la caldera con agua fría a presión procedente de la red, a temperatura t_e .

En los cálculos que se van a desarrollar hay que distinguir claramente los períodos puntas de consumo de los periodos valles. La base del funcionamiento de los sistemas centralizados consiste en que en los periodos valles se vaya preparando agua caliente, de modo que puedan satisfacerse las necesidades de los períodos puntas, en los que la caldera sería insuficiente para proporcionar el número de calorías requerido. De este modo se consiguen instalaciones eficaces con consumos energéticos.

Potencia útil o aprovechada de la caldera está dada por la fórmula³:

$$Pu = 4.18 \frac{t_u - t_e}{h_v + h_p} h_p \times QM_p + G - QM_p \times H_p \times \frac{h_v}{H - H_p} \qquad \text{Ecuación (4.4)}$$

³ Fuente: http://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/28/s280.h13.gif



Dónde:

P = potencia útil (Kw)

te = temperatura de entrada del agua fría (°C)

tp = temperatura de preparación (°C)

tu = temperatura de utilización (°C)

G = gasto diario de vapor (l)

QMp = caudal medio en los períodos punta (l/s)

hp = duración de cada período que consideramos como punta (s)

hv = duración de cada período que consideramos como valle (s)

H = tiempo del día en que se considera el funcionamiento de la caldera (s)

Hp = tiempo total de períodos puntas (s)

4.5 Volumen de Acumulación de la caldera

El volumen de acumulación de la caldera se determina por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{hv \times hp}{hv + hp} tu - te \frac{QMp - \frac{G - QMp \times Hp}{H - Hp}}{tp - 0.4tu - 0.6te} \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

4.6 Dimensionamiento de la caldera

4.6.1 Cálculo del espesor de la caldera

Se determina por la ecuación⁴:

$$t = \frac{P \times ri}{S \times E - 0.6 \times P} \quad \text{Ecuación (4.6)}$$

t = Espesor mínimo requerido (pulg)

P = Presión de diseño

E = Eficiencia de soldadura

⁴ Fuente: León Estrada Juan, “Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión”, capítulo 2

r_i = Radio interior del cilindro

S = límite de fluencia del material

4.7 Entalpía

Considérese un cambio diferencial de estado para un sistema cerrado estacionario. La primera ley se da en general como:

$$dQ = dU + dW \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

Limitándose al estudio de una sustancia para que sólo el trabajo ($p dV$) es relevante. Entonces la ecuación se convierte en

$$dQ = dU + p dV \quad \text{Ecuación (4.8)}$$

Además, si el proceso es a presión constante y cuasiestático puede escribirse como

$$dQ = d(U + p V) \quad \text{Ecuación (4.9)}$$

Ahora se define la nueva función como

$$H \equiv U + p V \quad \text{Ecuación (4.10)}$$

Redefiniendo entonces

$$dQ = dH \quad \text{Ecuación (4.11)}$$

Se observa que dH es la medida del efecto calorífico en un proceso cuasi-estático de presión constante de una sustancia para la que sólo el trabajo $p dV$ es pertinente.

4.8 Entropía



Dado que la energía se ha definido como la capacidad para desarrollar trabajo, es razonable definir la calidad de la energía en función de su potencialidad para desarrollar trabajo. Se puede decir entonces que la calidad de cada unidad de energía en un sistema A es mayor que la calidad de cada unidad de energía en el sistema B, si cada unidad de energía en el sistema A potencialmente puede efectuar más trabajo que cada unidad de energía en el sistema B. Lo anterior significa que la energía en un depósito de trabajo sería de la más alta calidad. Aquella parte del contenido de energía en un sistema dado que potencialmente puede proporcionar trabajo recibe el nombre de trabajo disponible del sistema. Se representará con E_d el trabajo disponible de un sistema cuyo contenido total de energía es E y E_{nd} como energía no disponible del sistema.

$$E = E_d + E_{nd} \quad \text{Ecuación (4.12)}$$

En general, cuando un sistema cerrado efectúa un cambio de estado, se tendrá un cambio en su contenido total de energía y un cambio en su trabajo disponible.

Definiremos la entropía S , de tal manera que un cambio en ella, dS , durante un cambio de estado se relacione con el cambio en energía dE y el cambio en trabajo disponible dE_d correspondientes, evaluando este último con respecto a un depósito estándar:

$$dS = c(dE - dE_d) \quad \text{Ecuación (4.13)}$$

Donde c es una constante positiva arbitraria cuyo valor depende del depósito estándar. La definición anterior implica que la entropía es proporcional a la energía no disponible del sistema y que se trata de una propiedad extensiva.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, $dE = 0$ para un sistema aislado y conforme al principio de la degradación de la energía, dE_d debe ser negativo para el mismo sistema. Por lo tanto, se debe tener para un sistema aislado.

$$(dS)_{ais} \geq 0 \quad \text{Ecuación (4.14)}$$

Ésta constituye una expresión matemática de la segunda ley de la termodinámica: la entropía de un sistema aislado nunca puede disminuir.

4.9 Ciclo Térmico

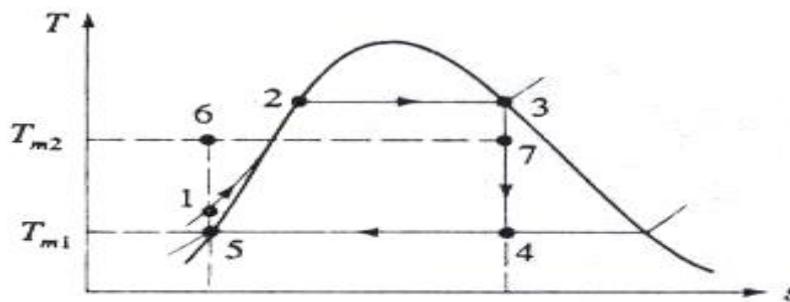


Fig. 4.1. Ciclo Rankine simple

Los cálculos relacionados con el funcionamiento de un ciclo de Rankine son relativamente sencillos. Suponiendo que para efectuar la parte del ciclo cada componente del equipo opera en estado permanente con flujo también permanente y que los cambios de energía cinética y de energía potencial son despreciables, se tiene, al considerar la primera ley, los siguientes resultados⁵:

$$Q_{ent} = h_3 - h_1 \quad \text{Ecuación (4.15)}$$

$$WT = h_3 - h_4 \quad \text{Ecuación (4.16)}$$

$$Q_{sal} = h_5 - h_4 \quad \text{Ecuación (4.17)}$$

$$W_p = h_5 - h_1 \quad \text{Ecuación (4.18)}$$

Dónde:

Q_{ent} = caudal de entrada

Q_{sal} = caudal de salida

WT = trabajo total

⁵ Fuente: http://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/28/s280.h13.gif



W_p = trabajo de la bomba

4.10 Pérdidas de la caldera al exterior

Estas pérdidas se las calcula por la siguiente ecuación:

$$Q_{Tot} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad \text{Ecuación (4.19)}$$

Dónde:

Q_{conv} = pérdidas por convección (W)

Q_{rad} = pérdidas por radiación (W)

4.10.1 Pérdidas por convección

Para el cálculo de las perdidas por convección Q_{conv} , se aplicará las siguientes ecuaciones:

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ecuación (4.20)}$$

Dónde:

h = coeficiente de convección (W/m^2K)

A = área (m^2)

T_s = temperatura superficial (K)

T_{∞} = temperatura ambiente (K)

4.10.2 Cálculo de la temperatura de película

La temperatura de película T_f , está definida

$$T_f = \frac{T_{s1} + T_{\infty}}{2} \quad \text{Ecuación (4.21)}$$

4.10.3 Cálculo del coeficiente de expansión

El coeficiente de expansión β , lo calculamos por la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{Ecuación (4.22)}$$

4.10.4 Cálculo el número de Rayleigh

El número de Rayleigh R_a , está determinado por la siguiente fórmula:

$$R_a = \frac{g \times \beta \times T_{s1} - T_{\infty} \times D^3}{\nu \times \alpha} \quad \text{Ecuación (4.23)}$$

Dónde:

g = gravedad, m / s^2

T_{s1} = Temperatura superficial (K)

T_{∞} = Temperatura ambiente (K)

β = Coeficiente de expansión (K^{-1})

ν = Viscosidad cinemática (m^2/s)

α = difusividad térmica (m^2/s)

D = Diámetro del cilindro

4.10.5 Cálculo del número de Nusselt (cilindro horizontal)

Determinamos con la ecuación⁶:

$$N_{UD} = 0.60 + \frac{0.387 \times R_a D^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.559}{Pr} \frac{9}{16} \frac{8}{27}} \quad \text{Ecuación (4.24)}$$

Dónde:

R_a = número de Rayleigh

Pr = número de Prandtl

⁶ Según la correlación de Churchill y Chu (promedio) para la convección libre sobre un cilindro largo horizontal con $Ra \leq 10^{12}$



4.10.6 Cálculo del coeficiente de convección

El coeficiente de convección se determina por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{N_{UD} \times k}{D} \quad \text{Ecuación (4.25)}$$

Dónde:

k = conductividad térmica, W / m K

4.10.7 Cálculo del número de Nusselt (placa vertical)

Determinamos con la ecuación⁷:

$$N_{UD} = 0.68 + \frac{0.670 \times Ra_{LD}^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.492}{Pr}^{\frac{9}{16}}} \quad \text{Ecuación (4.26)}$$

4.10.8 Pérdidas por radiación

Para calcular las pérdidas por radiación aplicamos la siguiente ecuación:

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ecuación (4.27)}$$

Dónde:

ε = coeficiente de emisividad

A = área (m²)

σ = constante de Stefan Boltzmann 5.67×10^{-8} W/m²K⁴

T_s = temperatura superficial (K)

T_{alred} = temperatura de alrededor, considerándola igual a T_{∞} (K)

⁷ Según la correlación promedio para placa vertical con $T_s = cte.$ $Ra \leq 10^9$

4.11 Cálculo del espesor de aislamiento

Ecuación para el cálculo del aislamiento térmico para temperaturas de 20°C-150°C

$$e = \frac{D}{2} \text{EXP}^{\frac{\lambda}{0.4} \ln \frac{2e_{ref}}{D} + 1} - 1 \quad \text{Ecuación (4.28)}$$

Dónde:

e = Espesor del aislamiento

D = Diámetro

λ = Coeficiente de conductibilidad térmica

e_{ref} = espesor mínimo de aislamiento

4.12 Potencia calorífica superior

La potencia calorífica superior se calcula por la siguiente ecuación:

$$PCS = (P_{cal} + q_{sal}) \times 4.19 \times n \quad \text{Ecuación (4.29)}$$

Dónde:

PCS = Potencia calorífica superior

P_{cal} = Potencia calorífica (Kcal)

q_{sal} = Calor de salida (KJ/Kg)

n = Coeficiente de seguridad

4.13 Eficiencia de la caldera

La eficiencia de una caldera se define por la energía calorífica absorbida por el agua de alimentación al convertirse en vapor dentro de la cámara, y la energía total disponible del combustible suministrado. Es decir, la eficiencia es una medida del



aprovechamiento del combustible por la caldera al generar una determinada cantidad de vapor.

Es económicamente factible la fabricación de una caldera que funcione con el mínimo de pérdidas de calor o sin ellas y por consiguiente, la eficiencia de una caldera siempre es menor del 100%. No obstante, algunas de las pérdidas de calor pueden reducirse al máximo o eliminarse mediante prácticas apropiadas de operación y mantenimiento.

La eficiencia de una caldera de vapor en condiciones de funcionamiento es:

$$\eta = \frac{\dot{m} \times (h_g - h_f)}{m_f \times PCS} \quad \text{Ecuación (4.30)}$$

Donde

η = rendimiento del generador de vapor

\dot{m} = gasto másico de agua, kg/hr

m_f = peso total de combustible quemado por hora, en kg.

PCS = potencia calorífica superior del combustible quemado, en kJ/kg.

h_f = Propiedades del agua saturada y vapor saturado

h_g = Propiedades del agua saturada y vapor saturado

4.14 Soldaduras

4.14.1 Límite de trabajo de soldadura

Determinamos por la ecuación:

$$Gt = \frac{Ge}{n} \quad \text{Ecuación (4.31)}$$

Dónde:

Gt = límite de trabajo

G_e = límite elástico de soldadura

n = coeficiente de seguridad

4.14.2 Coeficiente de resistencia a la fatiga del cordón

Utilizamos la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{1}{1.3 - 0.3 \left(\frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right)} \quad \text{Ecuación (4.32)}$$

4.14.3 Limite elástico originado por el cordón

Calculamos el límite elástico del cordón empleamos la ecuación:

$$T' = \frac{\varepsilon \times G_t}{\gamma} \quad \text{Ecuación (4.33)}$$

4.15 Pernos

Una pieza esta sometida a efecto de corte cuando fuerzas exteriores tienden a fragmentarlo, en este caso diremos cuando las chapas unidas tratan de deslizarse una con respecto a la otra, produciendo un esfuerzo de corte en el vástago.

Generalmente se origina dos casos: de simple cortadura, y de doble cortadura, para realizar el calculo se tomara la seccion resistente, resultante del vástago.

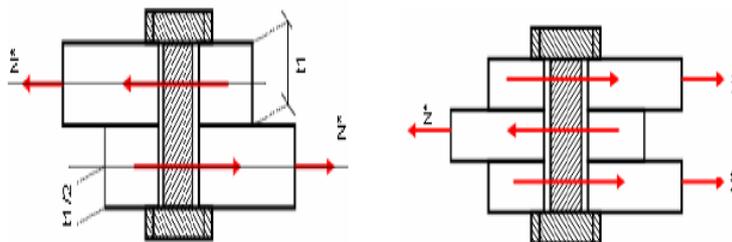


Fig 4.4. Pernos con apriete de chapas



4.15.1 Diametro del Perno

Se recomienda aplicar la siguiente relacion para el diámetro del perno, donde el espesor (e) para el calculo sera el promedio de las chapas a unir.

$$d = \overline{5 \times e} - 0.2 \quad \text{Ecuación (4.34)}$$

Dónde:

d = Diámetro del perno (cm)

e = Espesor de la placa (cm)

4.15.2 Carga Maxima Resistente a la Rotura

La carga de agotamiento de un perno a cortadura, en la seccion del vastago definida por la posicion de contacto entre chapas, se la calcula haciendo uso de la ecuacion.

$$F_{max} = K \times \sigma_y \times m \times A \quad \text{Ecuación (4.35)}$$

Dónde:

F_{max} = carga máxima resistente a la rotura.

K = coeficiente adimensional (0.65 para perno ordinarios y 0.8 en calibrador)

n = número de secciones transversales (1 para cortadura simple y 2 para doble)

A = seccion resistente del perno

σ_y = limite de fluencia

4.15.3 Cálculo del Número de pernos

El número de pernos N_c , debe absorber la carga que resulta del cortante por un factor de seguridad (n).

$$N_c = \frac{F \times n}{F_{max}} \quad \text{Ecuación (4.36)}$$

Dónde:

N_c = Número de pernos

F = Fuerza cortante aplicada en la tapa del caldero

n = Coeficiente de seguridad

F_{\max} = Fuerza máxima del perno

5. RESULTADOS



Para este proyecto de diseño y construcción de calderas pirotubulares será tratado como un problema de análisis en el que se fijan ciertos parámetros de entrada que serán constantes, parámetros que no variarán durante el proceso de diseño.

Dichos parámetros son los que se mencionan a continuación:

- Tipo de combustible
- Consumo de combustible
- Presión de operación de la caldera
- Condiciones ambientales

Una vez que se tienen establecidos los parámetros anteriores, se debe de empezar asumiendo otros parámetros dimensionales de la caldera para evaluar el comportamiento que tendría, estos parámetros son:

- Longitud de la caldera
- Número de pasos de la caldera
- Diámetro del hogar
- Diámetro de tubos en el haz de tubos
- Cantidad de tubos por cada paso de caldera

Como se puede notar, el proceso del diseño de las calderas es netamente iterativo ya que uno tiene que empezar considerando algunos parámetros para luego verificar si la caldera funcionará de una manera correcta. Si no es así, hay que variar dichos parámetros dimensionales de una u otra manera hasta tener valores que indiquen que la caldera funcionará correctamente.

Salida de
vapor

Chimenea

Caldero Piro-tubular Horizontal

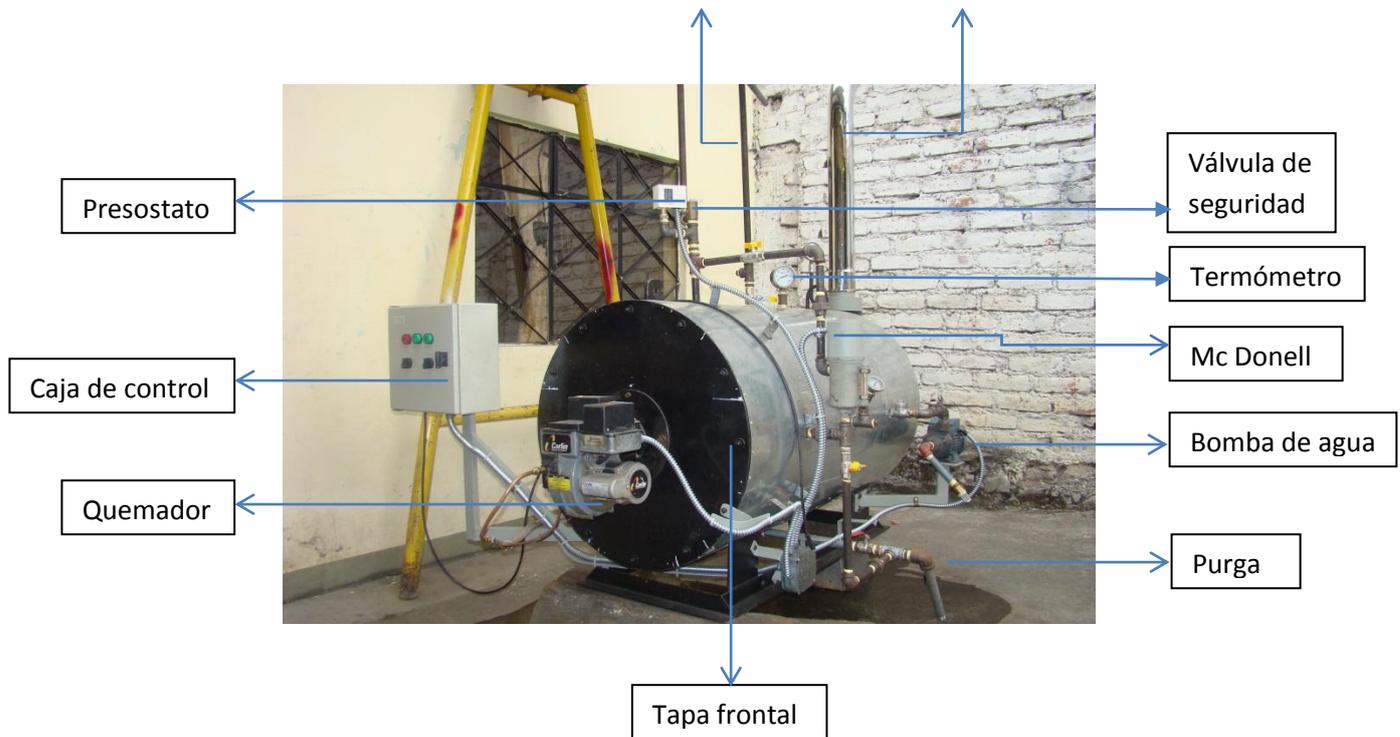


Fig 5.1 Caldero Piro-tubular Horizontal

5.1 Cálculo de la presión de diseño

La presión de diseño P , será determinada bajo la siguiente condición:

Si $P_o \leq 300 \text{ lb / pulg}^2$, entonces de acuerdo a la ecuación (4.2):

$$P = P_o + 30 \text{ lb / pulg}^2$$

Dónde:

P_o = presión de operación, 30 lb / pulg^2 o 30 psi

$$P = 30 \text{ lb / pulg}^2 + 30 \text{ lb / pulg}^2$$

$$P = 60 \text{ lb / pulg}^2 = 60 \text{ psi}$$

5.2 Cálculo del coeficiente normativo

El coeficiente lo determinamos por la siguiente ecuación (4.3):



$$n = (n1) (n2) (n3)$$

$$n = 1.2 \times 1.5 \times 1.2$$

$$n = 2.16$$

5.3 Determinación de la potencia de diseño de la caldera

La potencia de diseño de la caldera la determinamos por la ecuación (4.4):

$$Pu = 4.18 \frac{t_u - t_e}{h_v + h_p} h_p \times QM_p + G - QM_p \times H_p \times \frac{h_v}{H - H_p}$$

Donde

$$t_e = 16^\circ C$$

$$t_u = 100^\circ C$$

$$t_p = 123^\circ C$$

$$G = 900l$$

$$QM_p = 1/8 \times 900l = 112.5l / h = 0.031l / s$$

$$h_v = 4h = 14400s$$

$$h_p = 2h = 7200s$$

$$H_p = 6h = 21600s$$

$$H = 18h = 64800s$$

$$Pu = 4.18 \frac{100 - 16}{14400 + 7200} 7200 \times 0.031 + 900 - 0.031 \times 21600 \times \frac{14400}{64800 - 21600}$$

$$Pu = 2.46Kw$$

$$Pu = 2.46 \times n = 2.46 \times 2.16$$

$$Pu = 5.31Kw$$

$$Pu(BHP) = 7.13 = 7.5$$

$$Pu = 4816Kcal / h$$

5.4 Cálculo del volumen de acumulación de la caldera.

Calculamos por la siguiente fórmula ecuación (4.5):

$$V = \frac{h_v \times h_p}{h_v + h_p} (t_u - t_e) \frac{QM_p - \frac{G - QM_p \times H_p}{H - H_p}}{t_p - 0.4t_u - 0.6t_e}$$

Dónde:

$$t_e = 16^\circ C$$

$$t_u = 100^\circ C$$

$$t_p = 123^\circ C$$

$$G = 900l$$

$$QM_p = 1/8 \times 900l = 112.5l/h = 0.031l/s$$

$$h_v = 4h = 14400s$$

$$h_p = 2h = 7200s$$

$$H_p = 6h = 21600s$$

$$H = 18h = 64800s$$

$$V = \frac{14400 \times 7200}{14400 + 7200} (100^\circ C - 16^\circ C) \frac{0.031 - \frac{900 - (0.031 \times 21600)}{64800 - 21600}}{123^\circ C - 0.4 \times 100^\circ C - 0.6 \times 16^\circ C}$$

$$V = 141.12l$$

5.5 Dimensionamiento de la caldera

El volumen de acumulación de la caldera es 141.12l

$$V = 141.12l = 0.141 m^3$$

Acumulación de vapor más el caudal de agua dentro de la caldera que es el mismo volumen de vapor de salida piro tubular.

$$V_r = V(enl) + 0.141$$



$$V_T = 0.141 + 0.141$$

$$V_T = 0.282m^3$$

Asumimos que la longitud de la caldera será de 1 metro.

$$L = 1 m$$

Determinamos el área A_c

$$A_c = \frac{V_T}{L}$$

$$A_c = \frac{0.282m^3}{1m} = 0.282m^2$$

Sabemos que el área de un círculo es igual a:

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

De donde despejamos D y calculamos:

$$D = \sqrt{\frac{0.282 \times 4}{\pi}} = 0.599m \cong 0.6m$$

Con esto las medidas del tanque de la caldera son:

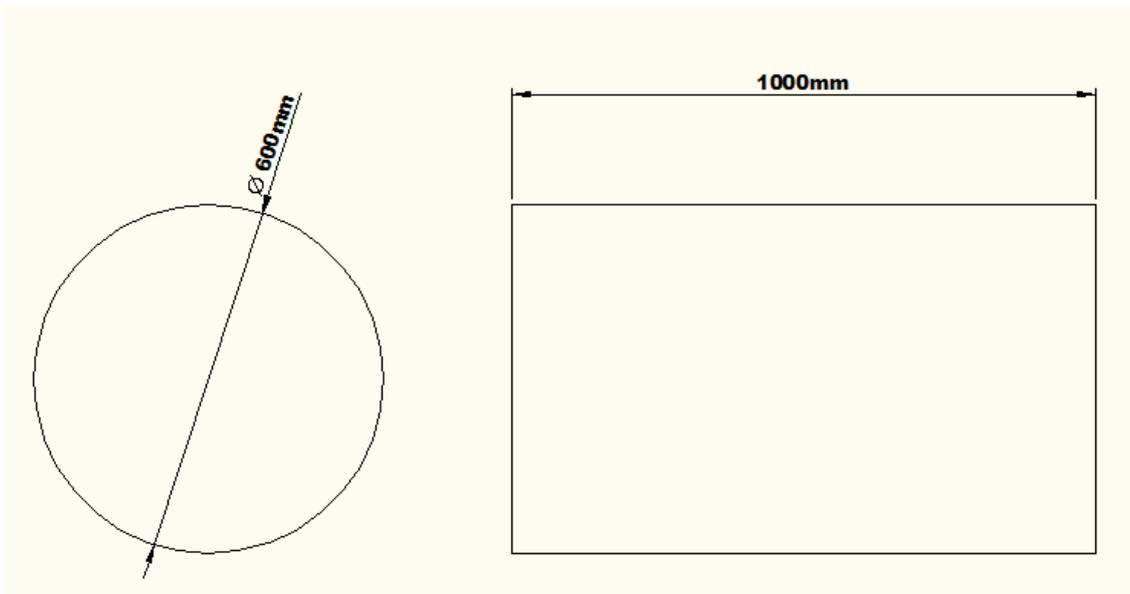


Fig. 5.2 Dimensiones de la caldera

5.5.1 Cálculo del espesor del cilindro de la caldera

El material a usar es AISI 304 con una tensión admisible de 34989.4PSI

PLACA

Especificaciones

Esfuerzo de cedencia 34989PSI

Esfuerzo último en 58000PSI

Esfuerzo de diseño en 12700PSI (de - 20 a 650 °F)

La tensión admisible se calcula por la fórmula:

$$S = \frac{\sigma_f}{n}$$

$$S = \frac{12700}{2.16} = 5879.62 \text{ psi}$$

El espesor del cilindro se calcula por la siguiente ecuación (4.6)



$$t = \frac{P \times r_i}{S \times E - 0.6 \times P}$$

Donde

t = Espesor mínimo requerido en pulgadas

P = Presión de diseño = 60 lb/pulg²

E = Eficiencia de soldadura 0.7 (valor anexo7)

r_i = Radio interior del cilindro = 11.81 pulgadas

S= límite de fluencia del material = 5879.62PSI

Reemplazamos los valores en la ecuación anterior:

$$t = \frac{60 \times 11.81}{5879.62 \times 0.7 - 0.6 \times 60}$$

$$t = 0.173'' \cong 3/16'' \cong 4.76\text{mm}$$

5.5.2 Dimensiones de la cámara de vapor y agua para el dimensionamiento de los tubos de circulación de calor

Donde la cámara de vapor será el 70% del diámetro del cilindro y la cámara de agua es el 30% restante.

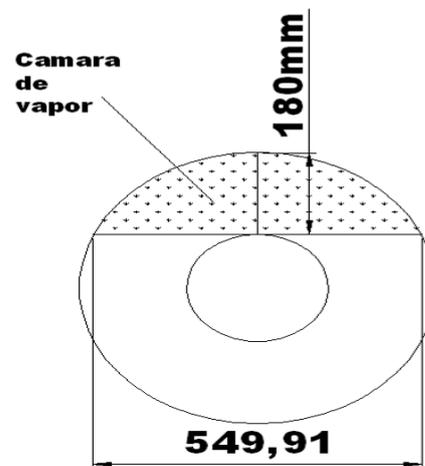


Fig. 5.3 Dimensionamiento de la caldera

5.5.3 Números de tubos por fila

$$N = \frac{W}{S_t}$$

Dónde:

W = Ancho del ducto

S_t = Distancia transversal de los tubos

$$N = \frac{W}{S_t}$$

$$N = \frac{0.55m}{0.065m}$$

$$N = 8.5 \text{ Tubos} = 8 \text{ tubos}$$

5.5.4 Arreglos de tubos escalonados

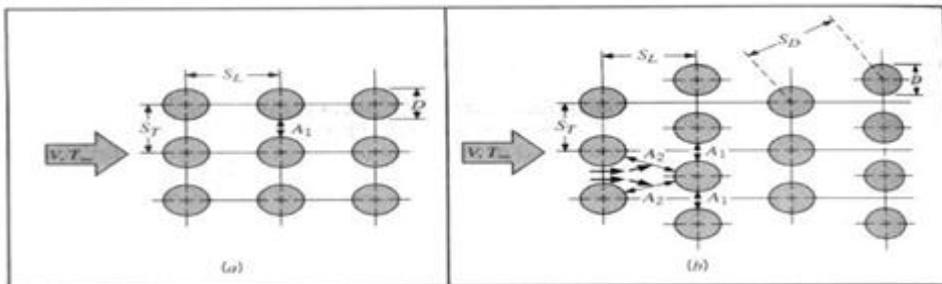


Fig. 5.4 Arreglos de tubos escalonados

5.6 Determinación de calor de entrada y salida

Como la presión de trabajo de la caldera a diseñar es de 30PSI (206.1KPa) y la nominal es de 20PSI – 138.14KPa se considera este rango para no perder el flujo de vapor saturado.

De anexo3 encontramos las entalpías.



Entonces $h_3 = h_g \rightarrow 206.1 \text{Kpas}$

Valor obtenido de tabla 4.1

Interpolamos el valor de la tabla y tenemos h_3

$$h_3 = 2706.3 \text{KJ} / \text{Kg}$$

Puesto que el proceso $3 \rightarrow 4$ es isentrópico, h_4 queda definida por $p_4 = 138.14 \text{Kpas}$

y $S_4 = S_3 = S_g$ a $206.1 \text{Kpas} = 7.1268 \text{kJ/kg-K}$.

Encontramos las entropías en la presión de 138.14Kpas entonces tenemos:

$$S_f = 1.4336 \text{kJ} / \text{kg} - \text{K}$$

$$S_{fg} = 5.7898 \text{kJ} / \text{kg} - \text{K}$$

$$S_g = 7.2234 \text{kJ} / \text{kg} - \text{K}$$

Donde $S_4 = S_3 = S_g$ a 206.1 kPa está contenida dentro de $S_f S_g$ a 138.14 kPa , entonces se puede decir que el punto 4 cae dentro de la región del líquido mezclado con vapor, se puede entonces utilizar la siguiente expresión para determinar h_4 .

$$h_4 = \left[h_g - (1-x)_4 h_{fg} \right]$$

Para encontrar la calidad en el punto 4 se debe de utilizar.

$$S_3 = S_4 = \left[S_g - (1-x)_4 S_{fg} \right] \text{ a } 138.14 \text{kPas}$$

$$7.1268 = \left[7.2234 - (1-x)_4 5.7898 \right]$$

Despejamos $(1-x)_4$ de la ecuación anterior:

Dónde:

$$-(1-x)_4 = \frac{7.1268 - 7.2234}{5.7898}$$

$$(1-x)_4 = 0.017$$

Por lo tanto, se debe interpolar para encontrar las entalpías h_g y h_{fg} a 138.14 kPa y se obtiene que:

$$h_g = 2693.4 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$h_{fg} = 2226.2 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

Reemplazamos los valores en la siguiente fórmula

$$h_4 = [h_g - (1-x)_4 h_{fg}]$$

$$h_4 = [2693.4 - 0.017 \times 2226.2]$$

$$h_4 = 2655.55 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Entonces calculamos el trabajo total de energías

$$W_t = h_3 - h_4$$

$$W_t = 2706.3 - 2655.55$$

$$W_t = 50.75 \text{ kJ} / \text{Kg}$$

Para el condensador se tiene

$$q_{sal} = h_5 - h_4$$

Donde $h_5 = h_f$ a 138.14 kPa y interpolando se encuentra que es igual a 467.13 kJ/kg

Dónde:

$$q_{sal} = 467.13 - 2655.55$$

$$q_{sal} = -2188.42 \text{ kJ} / \text{Kg}$$



El signo negativo simplemente significa, de acuerdo con la convención impuesta, el calor sale del condensador.

Para la bomba resulta

$$W_p = -V \times (p_1 - p_5)$$

Donde V se puede tomar como V_f a 138.14 kPa que resulta ser de la interpolación igual a 0.001053 m³/kg, por lo tanto.

Reemplazamos valores en la ecuación:

$$W_p = -0.001053 \times (206.1 - 138.14)$$

$$W_p = -0.072 \text{ kJ / Kg}$$

Donde el signo negativo indica que se está proporcionando trabajo.

$$h_1 = h_5 - W_p$$

$$h_1 = 467.13 - (-0.072)$$

$$h_1 = 467.202 \text{ kJ / Kg}$$

Para el generador de vapor se tiene:

$$q_{ent} = h_3 - h_1$$

$$q_{ent} = 2706.3 - 467.202$$

$$q_{ent} = 2239.1 \text{ kJ / Kg}$$

5.7 Cálculo de pérdidas al exterior

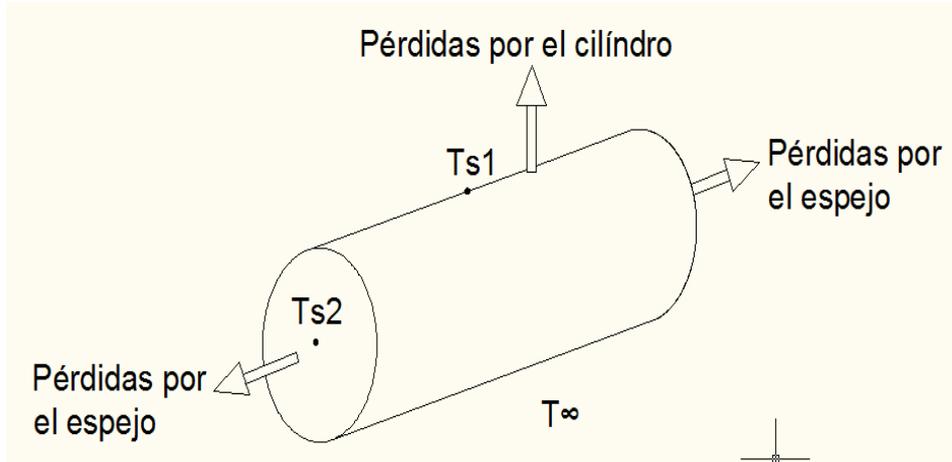


Fig. 5.5 Perdidas del caldero

Estas pérdidas se las calcula por la siguiente ecuación (4.19):

$$Q_{Tot} = Q_{conv} + Q_{rad}$$

5.7.1 Cálculo de la temperatura de película (cilindro horizontal)

La temperatura de película T_f está definida por (4.21):

$$T_f = \frac{T_{s1} + T_{\infty}}{2}$$

Dónde:

$$T_{s1} = 298.15 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 289.15 \text{ K}$$

Remplazamos valores en la ecuación anterior:

$$T_f = \frac{298.15 + 289.15}{2}$$

$$T_f = 293.65 \text{ K}$$



5.7.2 Cálculo del coeficiente de expansión (cilindro horizontal)

El coeficiente de expansión β , lo calculamos por la siguiente expresión (4.22):

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

Remplazamos los valores en la ecuación anterior:

$$\beta = \frac{1}{293.65} = 3.4 \times 10^{-3} K^{-1}$$

5.7.3 Cálculo del número de Rayleigh (cilindro horizontal)

El número de Rayleigh R_a , está determinado por la siguiente fórmula (4.23):

$$R_a = \frac{g \times \beta \times T_{s1} - T_{\infty} \times D^3}{\nu \times \alpha}$$

Dónde:

$$g = 9.81 \text{ m / s}^2$$

$$T_{s1} = 298.15 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 289.15 \text{ K}$$

$$\beta = 3 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática } 15.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s (valor anexo 4)}$$

$$\alpha = \text{difusividad térmica } 22.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s (valor anexo 4)}$$

$$D = 0.6 \text{ m}$$

Remplazamos valores en la ecuación de R_a :

$$R_a = \frac{9.81 \times 3.40 \times 10^{-3} \times 298.15 - 289.15 \times 0.6^3}{15.89 \times 10^{-6} \times 22.5 \times 10^{-6}}$$

$$R_a = 1.78 \times 10^8$$

5.7.4 Cálculo del número de Nusselt (cilindro horizontal)

Determinamos con la ecuación (4.24):

$$N_{UD} = 0.60 + \frac{0.387 \times Ra_a^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.559}{Pr} \frac{Ra_a^{\frac{1}{4}}}{16} \frac{8}{27}}$$

Dónde:

Pr = número de Prandtl 0.707 (valor anexo 4)

$$N_{UD} = 0.60 + \frac{0.387(1.78 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.559}{0.707} \frac{9}{16} \frac{8}{27}}$$

$$N_{UD} = 58.62$$

5.7.5 Cálculo del coeficiente de convección (cilindro horizontal)

El coeficiente de convección se determina por la siguiente ecuación (4.25):

$$h = \frac{N_{UD} \times k}{D}$$

Dónde:

k = conductividad térmica 0.0263 W / m K (valor anexo 4)

$$h = \frac{58.62 \times 0.0263}{0.6}$$

$$h = 2.57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



5.7.6 Cálculo de las pérdidas por convección (cilindro horizontal)

Determinadas por la ecuación (4.20):

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty})$$

Remplazamos:

$$Q_{conv} = 2.57 \times 1.88(298.15 - 289.15)$$

$$Q_{conv} = 43.6W$$

5.7.7 Cálculo de la temperatura de película (espejos)

La temperatura de película T_f , está definida por (4.21):

$$T_f = \frac{T_{s1} + T_{\infty}}{2}$$

Dónde:

$$T_{s1} = 343.15 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 289.15 \text{ K}$$

Remplazamos valores en la ecuación anterior:

$$T_f = \frac{343.15 + 289.15}{2}$$

$$T_f = 316.15 \text{ K}$$

5.7.8 Cálculo del coeficiente de expansión (espejos)

El coeficiente de expansión β , lo calculamos por la siguiente expresión (4.22):

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

Remplazamos los valores en la ecuación anterior:

$$\beta = \frac{1}{316.15} = 3.165 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

5.7.9 Cálculo el número de Rayleigh (espejos)

El número de Rayleigh R_a , está determinado por la siguiente fórmula (4.23):

$$R_a = \frac{g \times \beta \times T_{s1} - T_{\infty} \times D^3}{\nu \times \alpha}$$

Dónde:

$$g = 9.81 \text{ m / s}^2$$

$$T_{s1} = 343.15 \text{ K}$$

$$T_{\infty} = 289.15 \text{ K}$$

$$\beta = 3 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

ν = Viscosidad cinemática $17.50 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (valor anexo 4)

α = difusividad térmica $24.868 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (valor anexo 4)

$$D = 0.6 \text{ m}$$

Reemplazamos valores en la ecuación de R_a :

$$R_a = \frac{9.81 \times 3.165 \times 10^{-3} \times 343.15 - 289.15 \times 0.6^3}{17.50 \times 10^{-6} \times 24.868 \times 10^{-6}}$$

$$R_a = 8.32 \times 10^8$$

5.7.10 Cálculo del número de Nusselt (espejos)

Determinamos con la ecuación (4.26):

$$N_{UD} = 0.68 + \frac{0.670 \times R_{aLD}^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.492}{Pr}^{\frac{9}{16}}}$$

Dónde:

Pr = número de Prandtl 0.705 (valor anexo 4)



$$N_{UD} = 0.68 + \frac{0.670(8.32 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}}{1 + \frac{0.492}{0.705} \frac{9}{16} \frac{4}{9}}$$

$$N_{UD} = 87.94$$

5.7.11 Cálculo del coeficiente de convección (espejos)

El coeficiente de convección se determina por la siguiente ecuación (4.25):

$$h = \frac{N_{UD} \times k}{D}$$

Dónde:

k = conductividad térmica 0.02748 W / m K (valor anexo 4)

$$h = \frac{87.94 \times 0.02748}{0.6}$$

$$h = 4.03 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5.7.12 Cálculo de las pérdidas por convección (espejos)

Determinadas por la ecuación (4.20):

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty})$$

Remplazamos:

$$Q_{conv} = 4.03 \times 0.282(343.15 - 289.15)$$

$$Q_{conv} = 61.53 \text{ W}$$

Como son 2 espejos 123.06 W

5.7.13 Cálculo de pérdidas por radiación (cilindro horizontal)

Las determinamos mediante la ecuación (4.27):

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

Dónde:

ε = coeficiente de emisividad acero galvanizado 0.23 (valor anexo 8)

$$A = 1.88 \text{ m}^2$$

σ = constante de Stefan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$T_s = 298.15 \text{ K}$$

$$T_{alred} = 289.15 \text{ K}$$

Remplazamos valores en la ecuación anterior:

$$Q_{rad} = 0.23 \times 1.88 \times 5.67 \times 10^{-8} (298.15^4 - 289.15^4)$$

$$Q_{rad} = 22.35 \text{ W}$$

5.7.14 Cálculo de pérdidas por radiación (espejos)

Las determinamos mediante la ecuación (4.27):

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

Dónde:

ε = coeficiente de emisividad (acero pulido) 0.07 (valor anexo 8)

$$A = 1.88 \text{ m}^2$$

σ = constante de Stefan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$T_s = 343.15 \text{ K}$$

$$T_{alred} = 289.15 \text{ K}$$

Remplazamos valores en la ecuación anterior:

$$Q_{rad} = 0.07 \times 0.282 \times 5.67 \times 10^{-8} (343.15^4 - 289.15^4)$$

$$Q_{rad} = 7.69 \text{ W}$$

Como son 2 espejos 15.39 W



Calculamos las pérdidas existentes al exterior mediante la ecuación (4.19):

$$Q_{Tot} = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_{Tot} = 43.6 + 123.06 + 22.35 + 15.39$$

$$Q_{Tot} = 204.4W$$

5.8 Determinamos el espesor de aislamiento de la caldera

El espesor lo calculamos por la siguiente ecuación (4.28):

$$e = \frac{D}{2} \text{EXP}^{\frac{\lambda}{0.4} \ln \frac{2e_{ref}}{D} + 1} - 1$$

Dónde:

e = Espesor del aislamiento

D = Diámetro del cilindro de la caldera, 600mm

λ = Coeficiente de conductibilidad térmica, 0.035w/mK (valor anexo 9)

e_{ref} = espesor mínimo de aislamiento, 30mm (Valor anexo 6)

Reemplazamos los siguientes valores en la ecuación anterior:

$$e = \frac{600}{2} \left[\text{EXP}^{\frac{0.035}{0.4} \ln \left[\frac{2 \times 30}{600} + 1 \right]} - 1 \right]$$

e = 2.5mm Espesor de la lana de vidrio

5.9 Cálculo de la potencia calorífica superior

La potencia calorífica superior PCS, se calcula por la siguiente ecuación (4.29):

$$PCS = (P_{cal} + q_{sal}) \times 4.19 \times n$$

Dónde:

P_{cal} = Potencia calorífica combustible $C_{16}H_{34}$, 11344 Kcal (*valor anexo 10*)

q_{sal} = Calor de salida, 2188.42 KJ/Kg

n = 2.16 Coeficiente de seguridad

Sustituimos los valores en la fórmula:

$$PCS = (11344 + 2188.42) \times 4.19 \times 2.16$$

$$PCS = 122473.81 \text{ KJ} / \text{Kg}$$

5.10 Determinación de la eficiencia de la caldera

La eficiencia de la caldera η , lo determinamos por la ecuación (4.30):

$$\eta = \frac{\dot{m} \times h_g - h_f}{mf \times PCS}$$

Donde

\dot{m} = gasto másico de agua, kg/h

mf = peso total de combustible quemado por hora, kg

PCS = potencia calorífica, 122473.81 kJ/kg

h_g = 2706.3 kJ/kg (*Valor anexo 3*)

h_f = 504.7 kJ/kg (*Valor anexo 3*)

De acuerdo a:

$$BHP = lb/hr \times FE / 34.56$$

FE = factor de evaporación, 1.165

$$lb/hr = 7.5 \times 34.56 / 1.165$$

lb/hr = 222.48 Caudal que genera el caldero



Considerando un ciclo ideal tendríamos que el gasto másico de agua es igual al caudal que genera el caldero:

$$\dot{m} = 222.48 \text{ lb/hr} = 100.92 \text{ Kg/hr}$$

Para el peso total del combustible quemado por hora de acuerdo a la capacidad del quemador tendremos que el consumo será 1 GPH, de donde deducimos:

$$1 \text{ Galon} = 3.785 \text{ lt aproximadamente } 3.785 \text{ Kg}$$

Remplazamos valores:

$$\eta_t = \frac{100.92(2706.3 - 504.7)}{3.785 \times 122473.81}$$

$$\eta_t = 0.48 \cong \eta_t = 48\%$$

5.11 Cálculo de soldadura

Los tipos de electrodos a usar son E6011 y E7018

Para la unión de placas se utilizara electrodos E6011 con un límite de tracción de 60000

Libs / pul² y con $E = 0.7$ Coeficiente de soldadura anexo 7.

5.11.1 Límite de trabajo de soldadura.

Determinamos por la ecuación (4.31):

$$G_t = \frac{G_e}{n}$$

Dónde:

G_t = límite de trabajo.

G_e = 60000 psi

n = 2.16 coeficiente de seguridad.

$$Gt = \frac{60000}{2.16}$$

$$Gt = 27777.78 \text{ psi}$$

5.11.2 Coeficiente de resistencia a la fatiga del cordón

Utilizamos la siguiente ecuación (4.32):

$$\gamma = \frac{1}{1.3 - 0.3 \left(\frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right)}$$

Dónde:

$$P_{\min} = 30 \text{ psi}$$

$$P_{\max} = 60 \text{ psi}$$

Remplazamos valores:

$$\gamma = \frac{1}{1.3 - 0.3 \left(\frac{30 \text{ psi}}{60 \text{ psi}} \right)}$$

$$\gamma = 0.87$$

Calculamos el límite elástico del cordón empleamos la ecuación (4.33)

$$T' = \frac{\varepsilon \times Gt}{\gamma}$$

$$T' = \frac{0.7 \times 27777.78}{0.87}$$

$$T' = 22349.94 \text{ psi}$$

$$22349.94 \text{ psi} \leq 27777.78 \text{ psi} \text{ Cumple con la condición}$$

El cordón tiene que cumplir las siguientes características, N. Larburu 1995:

El tipo de cordón a tope:

Largo del cordón $b = 100 \text{ cm.}$

Espesor del cordón $h = 0.5 \text{ cm.}$



Sección de la soldadura.

$$A_{sol} = b \times h$$

$$A_{sol} = 100\text{cm} \times 0.5\text{cm}$$

$$A_{sol} = 50\text{cm}^2$$

Como el electrodo E6011 no es un electrodo de revestimiento, después de soldar con este electrodo; utilizaremos electrodo E7018, por tener más resistencia a la tracción y por ser de presentación.

5.11.3 Límite de trabajo de soldadura con electrodo E7018

Determinamos por la ecuación (4.31)

$$Gt = \frac{Ge}{n}$$

El electrodo E7018 con un límite de tracción de 70000 lb / pulg² y con $E = 0.7$ Coeficiente de soldadura anexo 7.

Dónde:

Gt = límite de trabajo.

$Ge = 70000$ psi

$n = 2.16$ coeficiente de seguridad.

$$Gt = \frac{70000}{2.16}$$

$$Gt = 32407.41 \text{ psi}$$

Calculamos el límite elástico del cordón empleamos la ecuación (4.33)

$$T' = \frac{\epsilon \times Gt}{\gamma}$$

$$T' = \frac{0.7 \times 32407.41}{0.87}$$

$$T' = 26074.93 \text{ psi}$$

$26074.93 \text{ PSI} \leq 32407.41 \text{ PSI}$ Cumple con la condición

El cordón tiene que cumplir las siguientes características, N. Larburu 1995:

El tipo de cordón es de tope:

Largo del cordón $b = 100 \text{ cm}$.

Espesor del cordón $h = 0.5 \text{ cm}$.

Sección de la soldadura.

$$A_{sol} = b \times h$$

$$A_{sol} = 100 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$$

$$A_{sol} = 50 \text{ cm}^2$$

5.12 Cálculo de los pernos

Calculamos la fuerza que ejerce en la tapa

Determinamos el área de la tapa de la caldera

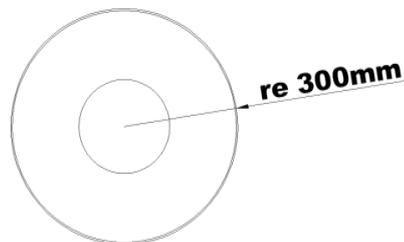


Fig. 5.6 Diámetro de la tapa de la caldera

$D = 0.60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$ Diámetro de la tapa de la caldera

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

$$A = \frac{\pi \times 60^2}{4}$$

$$A = 2827.43 \text{ cm}^2$$



$$P = 30PSI = 2.1Kg/cm^2$$

Reemplazamos los valores en la siguiente fórmula:

$$F = P \times A$$

$$F = 2.1 \times 2827.43$$

$$F = 5937.60Kg$$

Determinamos el diámetro del perno por la ecuación (4.34):

$$d = \sqrt{5 \times e} - 0.2$$

Dónde:

$$e = 5mm = 0.5cm \text{ Espesor de la tapa del caldero}$$

$$d = \sqrt{5 \times 0.5} - 0.2$$

$$d = 1.38cm = 13.8mm$$

$$d = 1.38mm$$

Calculamos la sección resistente del perno por la siguiente ecuación:

$$A_{res} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{res} = \frac{\pi \times 1.38^2}{4}$$

$$A_{res} = 1.49cm^2$$

Se elige un perno de grado 4.6 de acero normal que cuenta con:

$$\sigma_y = 1000 \text{ Kg/cm}^2 \quad K = 0.65 \quad n = 2.16$$

Determinamos la carga máxima a la rotura se determina por la siguiente fórmula (4.35):

$$F_{\max} = K \times \sigma_y \times m \times A$$

$$F_{\max} = 0.65 \times 2.16 \times 1000 \times 1.49$$

$$F_{\max} = 2091.96 \text{ Kg}$$

Calculamos el número necesario de pernos para soportar la carga que se determina por la siguiente ecuación (4.36):

$$N_c = \frac{F \times n}{F_{\max}}$$

$$N_c = \frac{5937.6 \times 2.16}{2091.96}$$

$$N_c = 6.13 \cong 6 \text{ Pernos}$$

En el cálculo realizado nos da como resultado la utilización de 6 pernos de diámetro 1.38 cm, en vista de que no existe presión alguna tan solo el peso del material refractario fundido para que se realicen los paso de calor por el haz de tubos, nosotros asumimos colocar 12 pernos de diámetro 6.35 cm distribuidos simétricamente en el perímetro externo del cilindro, esto nos permite sellar las tapas de manera uniforme y con ello evitar al máximo las pérdidas de calor

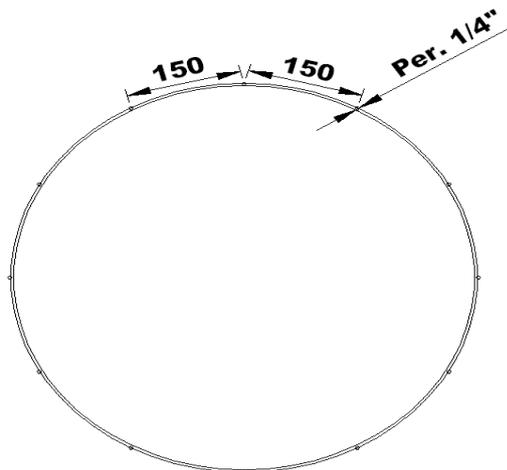


Fig. 5.7 Distribución de pernos

En total pondremos 12 pernos de $\frac{1}{4}$ " por ser una tapa redonda, para que sea hermética y no existan fugas del agua y vapor.

5.13 Selección del tipo de quemador a utilizar en el caldero

Como ya obtuvimos el caudal necesario de combustible para evaporizar el agua que es de 1.3 Kg / h, del anexo 2 escogemos el quemador que es de 15300BTU.

5.14 Determinación del tipo de bomba para alimentación del agua

La bomba centrífuga de agua a utilizar para el abastecimiento de la caldera es de 1/2HP, con una temperatura de trabajo a 120°C y una presión de trabajo de 30psi, la potencia de la bomba se escoge según la presión de trabajo de la caldera; y por ello se optó por la instalación de la bomba centrífuga PEDROLLO modelo CK50 HP0.5



Fig. 5.8 Bomba centrífuga

5.15 Tecnología de Construcción

Con todos los datos obtenidos en los cálculos. Desarrollaremos la tecnología de construcción de la caldera; con la utilización de las máquinas y herramientas que facilitaron el proceso de construcción.

5.15.1 Construcción del cilindro del caldero

Puesto que ya fue calculado el espesor del cilindro del caldero que es de 3/16" y el diámetro del cilindro es 0.6m, el material a usar es AISI 304.

Para encontrar el diámetro de 0.60m debemos calcular el perímetro del círculo, obtenido ya este resultado, continuamos con el proceso de corte con las dimensiones de un perímetro real 1.85m x 1m. Luego rolamos la chapa hasta obtener un cilindro de diámetro de 0.60m.

Antes de comenzar a soldar realizamos una preparación de las juntas a tope de la chapa rolada, realizamos un desbaste tipo bisel en X, para que la soldadura penetre y quede compacta, la unión de los bordes se hizo mediante procedimiento SMAW aplicando electrodos E6011 en los pasos de raíz, de respaldo y pase caliente, y con electrodo E7018 para el pase de relleno y presentación.

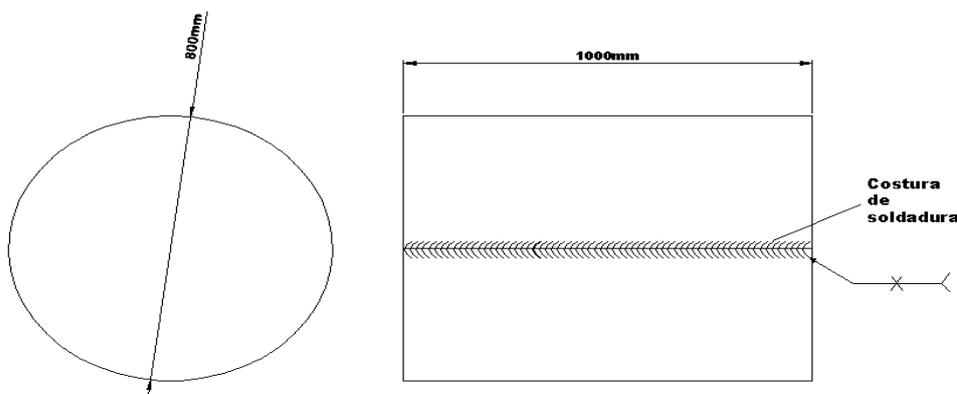


Fig. 5.9 Medidas del cilindro de la caldera



5.15.2 Construcción del haz de tubos de fuego

Con los cálculos obtenidos en el punto anterior, tenemos el diámetro de los tubos a soldar que es de 38mm con un espesor de 4mm, disponemos según el plano ver anexo, estos tubos soldamos en la placa de 5mm de espesor, mediante procedimiento SMAW utilizando electrodo E7018.

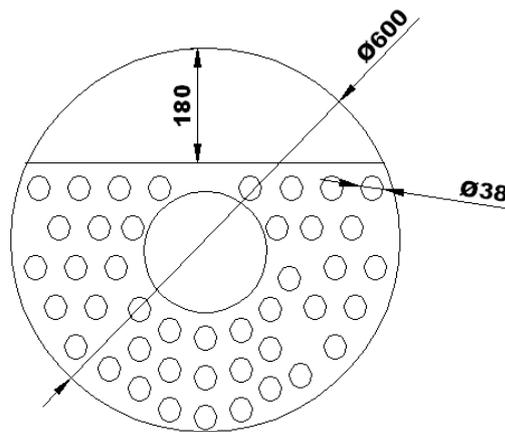


Fig. 5.10 Haz de tubos

Luego de soldar los tubos en los espejos o tapas interiores acoplamos en el cilindro, y procedemos a realizar la unión de los dos cuerpos mediante procedimiento SMAW aplicando electrodo E7018.

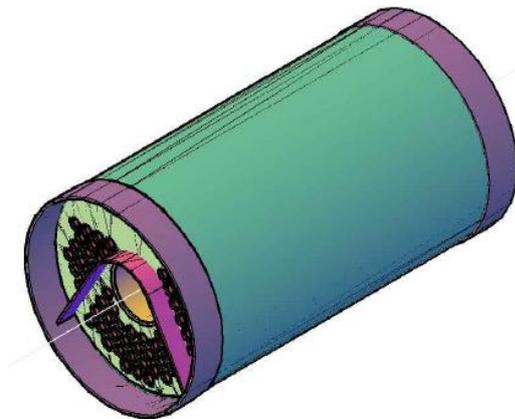


Fig. 5.11 Partes del caldero a soldar

Como paso siguiente seccionamos el perímetro de los espejos o tapas externas, en el espejo anterior se acoplara el mecanismo del quemador, y en el espejo posterior se construirá la cúpula para el material refractario y la caja de salida de la chimenea, las partes acopladas se las soldó mediante procedimiento SMAW utilizando electrodo E7018.

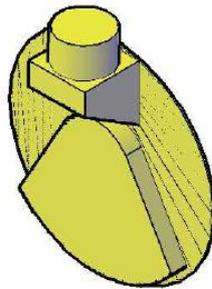


Fig. 5.12 Tapa con la chimenea de la caldera

5.15.3 Instalación de acoples

Para la entrada y salida de agua y vapor, para insertar instrumentos de control, fueron necesarios soldar acoples en la camisa del cilindro, con salida a $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", la unión de estas partes se las realizo mediante procedimiento SMAW utilizando electrodo E7018.

5.15.4 Instalación del control de nivel de agua

Las calderas deben estar provistas, de elementos que permitan conocer el nivel de agua de la cámara llamado (McDonnell) provisto de tubo de cristal o visor el cual nos permite divisar una columna de agua que enseña el nivel de agua el interior de la cámara de la caldera. Este elemento se lo ubica en posición vertical a una distancia de 10cm de la camisa en la parte lateral en donde están ubicados los neoplos de salidas, a una altura de entre el nivel mínimo y el nivel máximo de funcionamiento, en él interior del cilindro de este elemento se ubican tres electrodos de cobre de longitudes diferentes, con salida de conexión a una placa de control y esta emite una señal para encendido y apagado de la bomba de agua.



5.15.5 Instalación de Manómetro

El manómetro es un elemento de control que nos sirve como indicador de la presión de trabajo interna de la caldera. La lectura de este parámetro nos da la seguridad de funcionamiento del proceso o ciclo de generación del vapor

Utilizaremos un manómetro con escala de 0 a 100psi.



Fig. 5.13 Manómetros y accesorios

5.15.6 Instalación de Presostato

Es un instrumento que está previsto de dos rangos de control, los mismos que nos sirven para controlar el encendido y apagado del quemador, este instrumento se lo calibra por debajo de los niveles de cálculo de diseño de trabajo de la caldera, como son: presión mínima y presión máxima de trabajo que requiera en su uso. El presostato instalado tiene un rango de 0 -100psi.



Fig. 5.14 Presostato

5.15.7 Instalación de la válvula de seguridad

Este dispositivo tiene la misión de evitar la sobrepresión de la caldera, es decir en el caso de un desperfecto en el presostato, esta válvula se activa dejando pasar el exceso de

vapor, evitando así un posible explosión de la caldera, en conclusión este elemento protege a la caldera de presiones excesivas.

Se recomienda que toda caldera fija deba estar equipada con una válvula de seguridad y debe ser comprobada y calibrada antes de su instalación en la caldera.



Fig. 5.15 Válvula de seguridad

5.15.8 Instalación del medidor de temperatura

Este elemento llamado termómetro analógico, está previsto de un indicador o medidor y una vulva de mercurio, que nos permite observar a que temperatura están los cuerpos en el interior de la caldera (agua – vapor), en el caso de nuestra caldera se instaló dos medidores de temperatura, los mismos que están ubicados en las cámaras de agua y de vapor.

Los termómetros instalados tienen un rango de medición de 10-150 °C.



Fig. 5.16 Medidores de temperatura

5.15.9 Instalación de válvula de cierre

Estos accesorios permiten el pase o cierre desde la red de alimentación de agua hacia la caldera.



Fig. 5.17 Válvula de cierre

5.15.10 Instalación de válvula chek

Esta válvula tiene un mecanismo que permite el paso de agua en un sentido, es decir que el líquido no se regrese en el caso de existir una superior a la de alimentación o también cuando es alimentada por gravedad.

Este instrumento es muy importante en la instalación del circuito de alimentación de agua, se instaló dos válvulas, una en tramo antes de la bomba de agua y la otra en el tramo de alimentación a la caldera,

Las válvulas chek son de diámetro de ½" para vapor, con rango de baja presión.



Fig. 5.18 Válvula chek

5.16 Valoración Económica

La valoración económica del trabajo desarrollado está enfocada a la valoración de los costos de fabricación del caldero en conjunto que influye básicamente los gastos incurridos en la adquisición de cada una de las partes constitutivas del mismo, con lo cual podemos dar referencia a todo el instrumento, equipo, accesorios y procesos que utilizamos para la realización de este proyecto.

5.16.1 Costo de los materiales para la construcción del cuerpo

Nro.	Materiales	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Chapas 3/16 "	2	150,00	300,00

Caldero Piro tubular Horizontal

2	Tubos sin costura Cédula 40 1 1/2" x 3/16"	11	50,00	550,00
3	Tubo sin costura 7 1/2"x 1/4"	1	80,00	80,00
4	Tubos sin costu Cédula 40 1/2 x 2 mm	1	15,00	15,00
5	Chapas galvanizadas 1/32"	2	22,00	44,00
6	Ángulo 2" x 3/16"	1	48,00	48,00
7	Electrodos E6011	10 Kg	2,00	40,00
8	Electrodos E7018	10 Kg	2,20	44,00
9	Caja de remaches	1	8,00	8,00
10	Caja de penos	1	15,00	15,00
11	Fondo verde	1Lt	11,00	11,00
12	Pintura gris martillada	1Lt	14,00	14,00
13	Saco 30 Kg cemento refractario	1	70,00	70,00
14	Colchoneta de lana de vidrio 1"	12	4,00	48,00
SUBTOTAL				1287,00

5.16.2 Costo de instrumentos y accesorios

Nro.	Producto	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Presostato escala 0-60 psi	1	105,00	105,00
2	Manómetro de presión control diesel	2	40,00	80,00
3	Manómetro de presión escala 0-60psi	1	45,00	45,00
4	Termómetros analógicos esc. 10-150°C	2	65,00	130,00
5	Válvula de seguridad esc. 0-60 psi	1	35,00	35,00
6	Válvula check 1/2" acero inox.	1	35,00	35,00
7	Filtro ECP 5-10 plisado celulosa	1	85,00	85,00
8	Universales negra 150Lbs 1/2"	3	4,00	12,00
9	Tee negra 150 Lbs1/2"	6	2,00	12,00
10	Llave cortadora 3/4" tipo palanca	1	8,50	8,50
11	Llave cortadora 1/2" tipo palanca	3	12,00	36,00
12	Codo negro 300x3/4"x90	1	3,50	3,50
13	Codo negro 150Lbsx1/2"x90	5	1,20	6,00
14	Acoples m-m 1042-8-8 negro	7	3,50	24,50
15	Acoples m-e 1042-12-12 negro	2	5,00	5,00



Caldero Pirotubular Horizontal

16	Unión negra 150Lbsx 1/2"	2	2,50	2,50
17	Tapón 150Lbsx 3/4"	1	6,00	6,00
18	Teflon BL	3	0,60	1,80
19	Amortiguador de presión	1	25,00	25,00
20	Bomba de agua de 1/2 Hp PEDROLLO	1	125,00	125,00
21	Quemador diesel Carlin	1	850,00	850,00
22	Controlador de nivel de agua (MacDonal)	1	150,00	150,00
23	Sistema eléctrico y electrónico	1	300,00	300,00
24	Caja de control	1	220,00	220,00
SUBTOTAL				2302,80

5.16.3 Costo de mano de obra

Nro.	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Corte, perforación y rolado		150,00	150,00
2	Ensamblaje y proceso de soldadura		200,00	200,00
3	Máquinas y herramientas		300,00	300,00
4	Mano de obra		800,00	800,00
5	Asesorías Técnicas	3	50,00	150,00
SUBTOTAL				1.600,00

5.16.4 Costo de investigación

Nro.	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Recopilación de información		100,00	100,00
2	Consultas Bibliográficas e Internet		50,00	50,00
3	Movilización		150,00	150,00
4	Materiales de oficina		150,00	150,00
5	Visitas tecinas		70,00	70,00
SUBTOTAL				520,00

5.16.5 Costos Totales

Nro.	Descripción	Total
1	Costo de materiales para la construcción	1.287,00
2	Costo de instrumentos y accesorios	2.202,80
3	Costo de mano de obra	1.600,00
4	Costo en investigación	520,00
5	Gastos varios	300,00
	TOTAL	6.009,80



6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En nuestra investigación se realizó un estudio sobre generación de vapor, calderos, tipos y fundamentalmente el diseño y construcción de calderos piro tubulares. A partir de este estudio se procedió a diseñar las partes constitutivas de la máquina con los parámetros requeridos en nuestro proyecto.

Las características principales de la maquina construida son: caldero tipo piro tubular, con tubos rectos, de tres pasos, de circulación natural, de baja presión (30psi) a diesel y con una potencia de 7.5 BHP.

Las dimensiones generales de la caldera son 0.6 m de diámetro y una longitud de 1 m, el diámetro del tubo para el hogar es de 0.18m y los tubos del haz para circulación del flujo de calor es de 0.038 m.

Para garantizar el correcto funcionamiento y seguridad del caldero, este está equipado con: control de nivel de agua (McDonnell), control de presión (Presostato), válvula de seguridad, manómetro de presión, medidores de temperatura.

El quemador a utilizar es de 15300BTU, el cual produce el flujo de calor necesario para evaporizar el agua.

La bomba de alimentación de agua es de ½ HP marca PEDROLLO modelo CK50 HP0.5

Para el ensamblaje de las diferentes partes constitutivas del caldero se realizó mediante proceso de soldadura eléctrica por arco voltaico, mediante la utilización de electrodos E6011 para el paso de raíz y E7018 para el proceso de terminado y presentación.

La construcción del proyecto se ejecutó en el taller del Sr. Robert Córdova coautor de este trabajo. Los materiales, accesorios y dispositivos utilizados se los adquirió en su mayoría en nuestra localidad, materiales aislantes como el refractario, lana de vidrio e instrumentos de control y medición se los consiguió en la ciudad de Cuenca (Almacenes La Llave).

Luego del proceso constructivo se procedió a una etapa de ensayos, adquisición y comparación de datos teóricos con los de la máquina en funcionamiento. En este periodo se afinó algunos detalles que permitan cumplir con los objetivos planteados y las condiciones requeridas.

6.1 Valoración ambiental

Uno de los objetivos personales de los integrantes en la elaboración de este proyecto de tesis, fue que el factor contaminante sea el mínimo, por lo se utiliza un quemador de alta tecnología, por ende los gases emitidos son en pequeñas proporciones, comparando con los quemadores elaborados en nuestro medio, es decir esto se demuestra en la eficiencia del aprovechamiento del combustible transformándolo en energía calorífica, por lo tanto se podría decir que no hay residuos de combustible, con respecto a la caldera ya puesta en funcionamiento, la contaminación del ruido, es baja, debido que el único factor contaminante es el quemador elemento componente de la máquina, el mismo que contiene en sus partes constitutivas un motor pequeño que es silencioso, el cual emite bajos decibeles de ruido, que no alteran el medio ni los sentidos de audición de las personas.

En conclusión, esta máquina reúne los parámetros y características técnicas de construcción, funcionamiento y seguridad ambiental que las normas actuales exigen, para no alterar el medio ambiente y cuidar el calentamiento global.

6.2 Valoración Social

El compromiso nuestro para con la sociedad, es dejar plasmado en un texto nuestra experiencia en el desarrollo del trabajo de tesis **“Diseño y Construcción de un**



Caldero para Generación de Vapor”, que para alcanzar este objetivo se puso en práctica los conocimientos adquiridos la aulas durante nuestra formación académica en nuestra querida Universidad Nacional de Loja, nuestro deber es dejar en un texto en la biblioteca del Área de Energía, Industria y Recursos Naturales No Renovables, para que sirva como medio de consulta y guía a la comunidad universitaria y ciudadanía en general.

7. CONCLUSIONES

- ❖ Mediante la investigación y observación se pudo definir el proceso de diseño y construcción a seguir en nuestro proyecto.
- ❖ En la construcción de nuestro proyecto de tesis, aplicamos conocimientos teóricos-prácticos, utilizando procesos tecnológicos, así como también nos permitió desarrollar habilidades y destrezas en la elaboración de las partes constitutivas, ensamble, montaje de los elementos de control e instalación de los circuitos eléctricos y de alimentación de agua de la caldera.
- ❖ Como resultado del trabajo elaborado se pudo observar durante las pruebas de funcionamiento que la presión de trabajo y las temperaturas tanto en la cámara de agua como en la cámara de vapor fueron las mismas que se utilizó para el planteamiento del diseño de la caldera, es decir en el periodo de trabajo de 26 minutos tenemos una temperatura de 100°C en la cámara de agua y una temperatura de 125°C en la cámara de vapor a una presión de 30psi con ello constamos que nuestro planteamiento fue el correcto.
- ❖ Se realizó la socialización de nuestro proyecto de tesis con la participación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.



8. RECOMENDACIONES

- ❖ Para operar la caldera se debe tener conocimientos básicos de manejo de calderas, para precautelar la integridad física de las personas que este junto a la máquina, por cuanto al momento de una sobrepresión se puede dar que la caldera explote.
- ❖ Para el correcto funcionamiento se debe realizar periódicamente mantenimiento de limpieza de los sedimentos sólidos producidos por el quemador tanto en el hogar y como en los haz de tubos de fuego.
- ❖ Luego de un periodo de funcionamiento de la caldera se debe purgar el agua de la cámara de agua, de igual forma se debe hacer con el McDonnell, esta práctica nos servirá para evitar la acumulación de desechos sólidos; en el caso del McDonnell se pueden taponar de sedimentos los ductos de agua que sirven controlar los niveles internos de la caldera, y esto nos da a lugar a que el McDonnell nos dé una lectura diferente a la real.
- ❖ El área de instalación debe ser un lugar holgado de acuerdo al tamaño de la caldera, también se recomienda que sea cerrado para evitar pérdidas de temperatura.
- ❖ En lo que respecta al sistema del quemador se recomienda colocar la boquilla del inyector según los resultado de los cálculos, es decir en el caso nuestro se coloco un boquilla o chisla de 0,5 y a 45°, quiere decir con esto, el consumo sera de 0,5 galones por hora y el ángulo de aspersion a 45°.

9. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. **Feodosiev, V.I.**, (1985) Resistencia de Materiales, tercera edición, Editorial MIR, Moscú-Rusia.
2. **Hanselman Duane y Bruce Littlefield**, **The student edition of matlab**. 5ª version; s.l. Editorial Prentice Hall, 1997. 429pp
3. **Huang, Francis F.** **Ingeniería termodinámica fundamento y aplicación**. 2ª ed. México: Editorial Continental, S.A. de C.V. 1999. 864pp
4. **Principales fundamentos para la eficiencia de caldera**. s.l. Guatemala, Centro Educativo Técnico Laboral Kinal, s.a 21pp
5. **Servens, Degler y otros.** **Energía mediante vapor, aire o gas**. 5ª ed. España: Editorial Reverté, S.A. 1996. 503pp 83

TESIS

6. **Rodas Maltez, Alberto E.** **Efectos del mantenimiento y tratamiento de agua y combustible sobre la operación de calderas pirotubulares**. Tesis Ing. Química Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 82pp

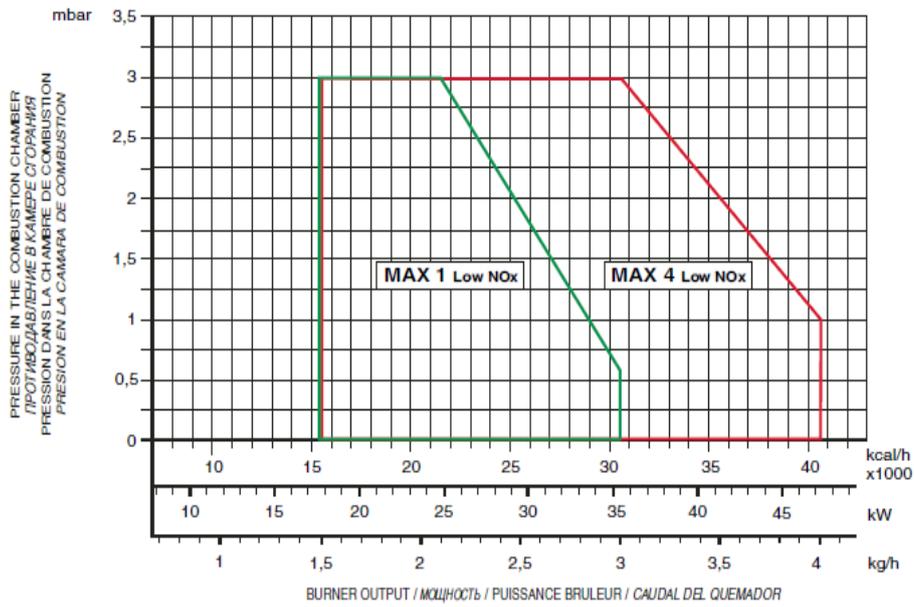
PÁGINAS WEB

7. http://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/28/s280.h13.gif
8. http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad



Anexos

Anexo 1
Tabla Quemadores





Anexo 2

Datos técnicos de los quemadores

MODELS МОДЕЛИ MODELES MODELOS	Output		Output		Flow rate		Power supply		Motor	Operation
	Тепловая мощность		Тепловая мощность		Расход		Электропитание		Мощность двигателя	Модификация
	Puissance calorifique		Puissance calorifique		Débit		Tension		Moteur	Fonctionnement
	Potencia térmica		Potencia térmica		Caudal		Tension electrica		Motor	Funcionamiento
	max./макс.	min./мин.	max./макс.	min./мин.	max./макс.	min./мин.	max./макс.	min./мин.		
	kW	kcal/hx1000	kW	kcal/hx1000	kg/h	kg/h	V	W		
	кВт	ккал/час x 1000	кВт	ккал/час x 1000	кг/ч	кг/ч	В	Вт		
MAX 1	41,4	35,7	17,6	15,3	3,5	1,5	230	75	ON-OFF	
MAX 1 Low NOx	35,5	30,6	17,6	15,3	3	1,5	230	75	ON-OFF	
MAX 4	59	51	20	17,34	5	1,7	230	75	ON-OFF	
MAX 4 Low NOx	47,3	40,8	17,6	15,3	4	1,5	230	75	ON-OFF	
MAX 8	105	90,78	47	40,8	8,9	4	230	100	ON-OFF	
MAX 12	130	112,2	60	52	11	5,1	230	130	ON-OFF	

Fuel : Light oil (L.C.V. 10.200 kcal/kg max. visc 1,5°E at 20°C) Вид топлива: Дизтопливо/низшая теплота сгорания 10.200 ккал/кг. Макс. вязкость 1,5°E при 20°C)
 Combustible : Fioul domestique (L.C.V. 10.200 kcal/kg max. visc 1,5°E at 20°C) Combustible : Gasóleo (P.C.I. 10.200 kcal/kg max. visc 1,5°E a 20°C)

Anexo 3
Propiedades del agua saturada y vapor

Presión Kpa	Volumen, m ³ /kg		Entalpía, kJ/kg		Entropía, kJ/kg·K		
	Líquido v _r	Líquido h _r	Vaporización h _{fg}	Vapor h _g	Líquido s _r	Vaporiza ción s _{fg}	Vapor s _g
1.5	0.0010006	54.71	2470.7	2525.5	0.1957	8.6332	8.8288
2	0.0010012	73.46	2460.2	2533.6	0.2607	8.4639	8.7246
2.5	0.001002	88.45	2451.7	2540.2	0.3119	8.3321	8.644
3	0.0010027	101	2444.6	2545.6	0.3544	8.2241	8.5785
4	0.001004	121.41	2433.1	2554.5	0.4225	8.053	8.4755
5	0.0010052	137.77	2423.8	2561.6	0.4763	7.9197	8.396
7.5	0.0010079	168.77	2406.2	2574.9	0.5763	7.676	8.2523
10	0.0010102	191.83	2392.9	2584.8	0.6493	7.5018	8.1511
15	0.001014	225.97	2373.2	2599.2	0.7549	7.2544	8.0093
20	0.0010172	251.45	2358.4	2609.9	0.8321	7.0774	7.9094
25	0.0010199	271.99	2346.4	2618.3	0.8932	6.9391	7.8323
30	0.0010233	289.3	2336.1	2625.4	0.9441	6.8254	7.7695
40	0.0010265	317.65	2319.2	2636.9	1.0261	6.6448	7.6709
50	0.0010301	340.56	2305.4	2646	1.0912	6.5035	7.5947
75	0.0010375	384.45	2278.6	2663	1.2131	6.2439	7.457
100	0.0010434	417.51	2257.9	2675.4	1.3027	6.0571	7.3598
150	0.001053	467.13	2226.2	2693.4	1.4336	5.7898	7.2234
200	0.0010608	504.7	2201.6	2706.3	1.5301	5.5967	7.1268
250	0.001067	535.25	2181.3	2716.5	1.6072	5.4452	7.0524
300	0.0010735	561.4	2163.2	2724.7	1.6716	5.3193	6.9909
350	0.0010789	584.3	2147.4	2731.6	1.7273	5.2119	6.9392
400	0.0010839	604.7	2133	2737.6	1.7764	5.1179	6.8943
450	0.0010885	623.2	2119.7	2742.9	1.8204	5.0343	6.8547
500	0.0010928	640.1	2107.4	2747.5	1.8604	4.9588	6.8192
550	0.0010969	655.8	2095.9	2751.7	1.897	4.89	6.687
600	0.0011009	670.4	2085	2755.5	1.9308	4.8267	6.7575
650	0.0011046	684.1	2074.7	2758.9	1.9623	4.7681	6.7304
700	0.0011082	697.1	2064.9	2762	1.9918	4.7134	6.7052
750	0.0011116	709.3	2055.5	2764.8	2.0195	4.6621	6.6817
800	0.001115	720.9	2046.5	2767.5	2.0457	4.6139	6.6596



Anexo 4
Propiedades Termo físicas del aire

Propiedades termofísicas del aire a presión atmosférica.

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3,5562	1.032	71,1	2,00	9,34	2,54	0,786
150	2,3364	1.012	103,4	4,426	13,8	5,84	0,758
200	1,7548	1.007	132,5	7,590	18,1	10,3	0,737
250	1,3947	1.006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,720
300	1,1614	1.007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	0,9950	1.009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,700
400	0,8711	1.014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,690
450	0,7740	1.021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686
500	0,6964	1.030	270,1	38,79	40,7	56,7	0,684
550	0,6329	1.040	288,4	45,57	43,9	66,7	0,683
600	0,5804	1.051	305,8	52,69	46,9	76,9	0,685
650	0,5356	1.063	322,5	60,21	49,7	87,3	0,690
700	0,4975	1.075	338,8	68,10	52,4	98,0	0,695
750	0,4643	1.087	354,6	76,37	54,9	109	0,702
800	0,4354	1.099	369,8	84,93	57,3	120	0,709
850	0,4097	1.110	384,3	93,80	59,6	131	0,716
900	0,3868	1.121	398,1	102,9	62,0	143	0,720
950	0,3666	1.131	411,3	112,2	64,3	155	0,723
1.000	0,3482	1.141	424,4	121,9	66,7	168	0,726
1.100	0,3166	1.159	449,0	141,8	71,5	195	0,728
1.200	0,2902	1.175	473,0	162,9	76,3	224	0,728
1.300	0,2679	1.189	496,0	185,1	82	238	0,719
1.400	0,2488	1.207	530	213	91	303	0,703
1.500	0,2322	1.230	557	240	100	350	0,685

Anexo 5

Propiedades termofísicas del agua saturada

T (K)	P (bar)	$1/\rho \cdot 10^3$ (m ³ /kg)	h_{fg} (kJ/kg)	c_p (J/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$k \cdot 10^4$ (W/m·K)	Pr	$\beta \cdot 10^6$ (K ⁻¹)
273,15	0,00611	1,000	2.502	4.217	1.750	569	12,99	-68,05
275	0,00697	1,000	2.497	4.211	1.652	574	12,22	-32,74
280	0,00990	1,000	2.485	4.198	1.422	582	10,26	46,04
285	0,01387	1,000	2.473	4.189	1.225	590	8,81	114,1
290	0,01917	1,001	2.461	4.184	1.080	598	7,56	174,0
295	0,02617	1,002	2.449	4.181	959	606	6,62	227,5
300	0,03531	1,003	2.438	4.179	855	613	5,83	276,1
305	0,04712	1,005	2.426	4.178	769	620	5,20	320,6
310	0,06221	1,007	2.414	4.178	695	628	4,62	361,9
315	0,08132	1,009	2.402	4.179	631	634	4,16	400,4
320	0,1053	1,011	2.390	4.180	577	640	3,77	436,7
325	0,1351	1,013	2.378	4.182	528	645	3,42	471,2
330	0,1719	1,016	2.366	4.184	489	650	3,15	504,0
335	0,2167	1,018	2.354	4.186	453	656	2,88	535,5
340	0,2713	1,021	2.342	4.188	420	660	2,66	566,0
345	0,3372	1,024	2.329	4.191	389	668	2,45	595,4
350	0,4163	1,027	2.317	4.195	365	668	2,29	624,2
355	0,5100	1,030	2.304	4.199	343	671	2,14	652,3
360	0,6209	1,034	2.291	4.203	324	674	2,02	697,9
365	0,7514	1,038	2.278	4.209	306	677	1,91	707,1
370	0,9040	1,041	2.265	4.214	289	679	1,80	728,7
373,15	1,0133	1,044	2.257	4.217	279	680	1,76	750,1
375	1,0815	1,045	2.252	4.220	274	681	1,70	761
380	1,2869	1,049	2.239	4.226	260	683	1,61	788
385	1,5233	1,053	2.225	4.232	248	685	1,53	814
390	1,794	1,058	2.212	4.239	237	686	1,47	841
400	2,455	1,067	2.183	4.256	217	688	1,34	896
410	3,302	1,077	2.153	4.278	200	688	1,24	852
420	4,370	1,088	2.123	4.302	185	688	1,16	1.010
430	5,699	1,099	2.091	4.331	173	685	1,09	
440	7,333	1,110	2.059	4.360	162	682	1,04	
450	9,319	1,123	2.024	4.400	152	678	0,99	
460	11,71	1,137	1.989	4.440	143	673	0,95	
470	14,55	1,152	1.951	4.480	136	667	0,92	
480	17,90	1,167	1.912	4.530	129	660	0,89	
490	21,83	1,184	1.870	4.590	124	651	0,87	
500	26,40	1,203	1.825	4.660	118	642	0,86	



Anexo 6

Espesores mínimos de aislamiento térmico

Los componentes de una instalación (equipos, aparatos, conducciones y accesorios) deberán disponer de un sistema de aislamiento térmico con el siguiente espesor mínimo:

ESPESOR MÍNIMO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS CON FLUIDO INTERIOR CALIENTE				
Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm) según temperatura del fluido			
	40-65 °C	65-100 °C	100-150 °C	150-200 °C
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50
$140 < D$	30	40	50	60

ESPESOR DE APARATOS Y DEPÓSITOS	
Superficie (m ²)	Espesor (mm)
≤ 2	30
> 2	50

Anexo 7

Eficiencias de soldadura

	EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"	NORMAS		
		FIGURA No. 1		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

Fuente: (José Alvarado, Dario Sotomayor, Fabián Larriba, Manuel Silva, 2006)



Anexo 8

Coefficientes de emisividad

MATERIAL SUPERFICIAL	COEFICIENTE DE LA EMISIVIDAD ϵ
Aluminio oxidado	0.2 - 0.31
Aluminio altamente pulido	0.039 - 0.057
Aluminio anodizado	0.77
Ladrillo, áspero rojo	0.9
Ladrillo, arcilla refractaria	0.75
Cadmio	0.02
El hierro pulió	0.14 - 0.38
Hierro, placa aherrumbró rojo	0.61
Pintura negro de humo	0.96
Líquido del mercurio	0.1
Acero suave	0.20 - 0.32
Molibdeno pulido	0.05 - 0.18
Níquel, electrolítico	0.03
Níquel, oxidado	0.59 - 0.86
Alambre de ni-cromo, brillante	0.65 - 0.79
Compensación del papel	0.55
Yeso	0.98
Platino, placa pulida	0.054 - 0.104
Porcelana, esmaltada	0.92
Papel del material para techos	0.91
Caucho, placa brillante dura	0.94
Duro nacional de goma	0.91
Suavidad nacional de goma	0.86
Arena	0.76
Serrín	0.75
Carburo del silicio	0.83 - 0.96
Plata pulida	0.02 - 0.03
Acero oxidado	0.79
Acero pulido	0.07
Acero inoxidable, resistido	0.85
Acero inoxidable, pulido	0.075
Acero inoxidable, tipo 301	0.54 - 0.63
Acero galvanizado viejo	0.88
Acero galvanizado nuevo	0.23
Hierro labrado	0.94

Fuente:http://www.impictermografia.com/noticias_termografia/index.php/emisividad/acerca-de-la-emisividad/4-emisividad

Anexo 9

Coefficientes de conductividad térmica

MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD
lana mineral/vidrio suelta	80/140	0,035
	150/200	0,040
lana mineral/vidrio planchas semirígidas/rígidas	45/80	0,040
	80/200	0,045
poliestireno expandido	15/20	0,030
espuma de uretano/poliuretano	25/40	0,025
perlita suelta	30/130	0,046
mortero de perlita	400	0,080
	600	0,120
espuma de vidrio	100	0,040
paneles de corcho expandido/aglomerado	100/150	0,037
	150/200	0,041
paneles de corcho comprimido	500	0,085
maderas tipo aglomerado	200	0,055
	300	0,060
	400	0,074
amianto	400	0,067
vermiculita suelta	150	0,070
vermiculita expandida	100	0,060
minerales en forma granular	200	0,130
	400	0,150

Fuente: Ricardo Santiago Netto. «Tabla de Conductividad Térmica». fisicanet.



Anexo 10
Propiedades de los Hidrocarburos

	Fórmula	Densidad		Potencia calorífica en Kcal			Peso molecular, kg/kg _{mol}
		Específica	API	Superior por kg	Inferior por kg	De la mezcla por m ³	
Gas	CH ₄	0.424	202.5	13249	11977	774	16
	C ₂ H ₆	0.546	194	12444	11442	821	30
Gas LP	C ₃ H ₈	0.582	142	12027	11119	834	44
	C ₄ H ₁₀	0.57	116.5	11832	10996	844	58.1
	C ₅ H ₁₂	0.626	94.5	11721	10888	848	72.1
Gasolina	C ₇ H ₁₆	0.684	75.5	11583	10782	857	100.2
	C ₇ H ₁₆	0.69	10610	...	100.2
	C ₈ H ₁₈	0.692	73.5	11433	10642	850	114.2
Fuel-oil	C ₁₀ H ₂₂	0.73	62.5	11444	10669	859	142.3
	C ₁₂ H ₂₆	0.749	57.5	11416	10651	862	170.3
	C ₁₆ H ₃₄	0.774	51.5	11344	10592	862	226.4
	C ₁₈ H ₃₈	0.782	49.5	11333	10581	866	245.5

Fuente: W: H: Severns, La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases

Fotografías



Caldero Pirotubular Horizontal



Caldero Pirotubular Horizontal





Caldero Piro tubular Horizontal



Caldero Piro-tubular Horizontal





Caldero Pirotubular Horizontal

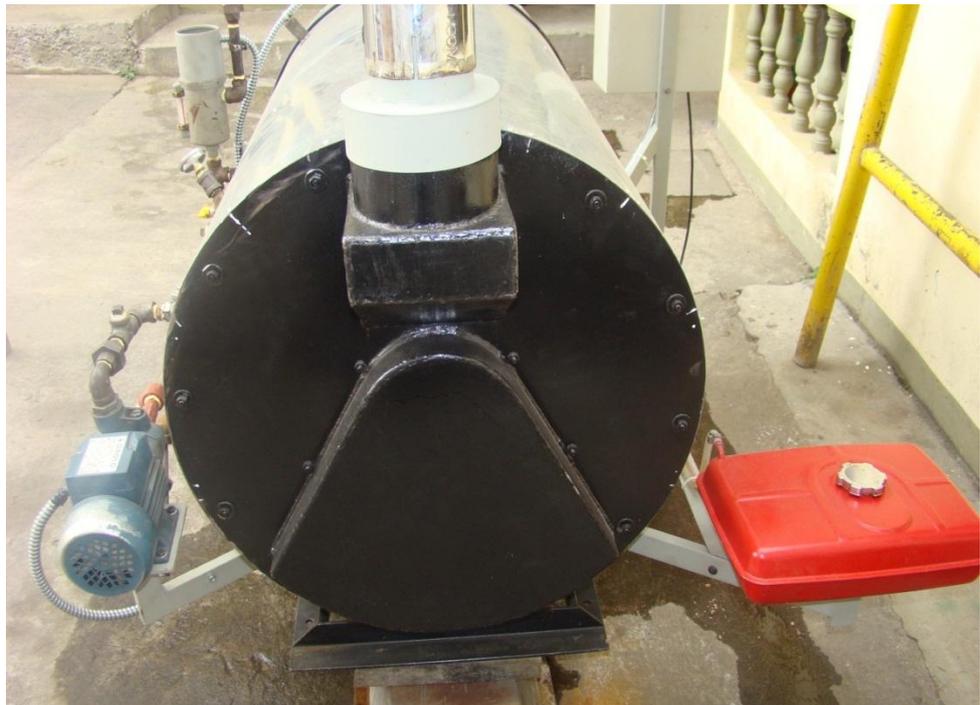


Caldero Piro-tubular Horizontal





Caldero Pirotubular Horizontal



Planos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERO DE 7.5
BHP PARA GENERACIÓN DE VAPOR”**

Proyecto de Tesis previa a
la obtención del Título de
Ingeniero Electromecánico

AUTORES

Robert Benigno Córdova Ordoñez
José Israel Larreátegui Pullaquari

LOJA – ECUADOR
2009

1. TÍTULO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERO DE 7.5 BHP PARA GENERACIÓN DE VAPOR”

2. PROBLEMÁTICA

2.1 Situación Problemática

2.1.1 Antecedentes

A nivel mundial el proceso de transformación en los diferentes aspectos ha llegado a la superación, y a alcanzar métodos de producción de energía, para facilitar el trabajo del hombre, en las diferentes industrias y de esa manera conseguir mejor eficiencia, como el transporte y generación de energía. Tal es así, que la generación de vapor existe hace más de doscientos años. La podemos ver en cualquier lugar del mundo, consiste en transferir calor del combustible al agua, que se calienta hasta convertirse en vapor saturado, para luego ser utilizado en diversos procesos en las industrias.

El uso de energías alternativas, cada día cobra vigencia, la generación de vapor al ser tratada por estas vías, puede disminuir el uso de otras energías habituales como el petróleo, ya que la obtención del vapor puede hacerse por medio de los denominados biocombustibles, y su aplicación se da en varios campos como por ejemplo la generación de energía eléctrica.

El dispositivo principal para la generación de vapor es la caldera, a la cual aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporiza el agua.

Hasta principios del siglo XIIX se usaron calderas para teñir ropa, producir vapor para limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual funcionaba durante corto tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura).

Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua, de cilindros verticales. Estas fueron las impulsadoras de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa hasta la actualidad.

Las calderas son simples, eficientes y fiables. Ningún equipo las supera transfiriendo calor de un lugar a otro. Actualmente las utilizamos en fábricas, planchadoras de ropa, lavaplatos, pasteurización de leche, esterilización de equipos médicos y hasta para la generación de electricidad. Sus capacidades parecen no tener fin.

En nuestro país aportaron en la transportación ferroviaria, así también en algunas centrales de generación de energía eléctrica, en nuestra localidad la generación de vapor se la utiliza en la planta procesadora de azúcar “MALCA”, para la generación de vapor se utiliza el bagazo de la caña generado en la producción azucarera, el mismo que se lo aprovecha en un estado ya seco para la combustión, el vapor mueve una turbina esta transmite su torque a un generador para luego generar corriente eléctrica suficiente para abastecer a la planta, igualmente la generación de vapor es utilizado en el Hospital Civil Isidro Ayora para la cocción de alimentos, planchado, lavado, esterilización, etc.

2.1.2 Problemática

Hoy en día, el vapor de agua se emplea para generar energía, beneficiándose de los procesos físicos de la transformación del agua en estado líquido a gaseoso utilizando la energía calorífica a través de la combustión de los combustibles (sólido, líquido o gaseoso), por medio del uso de máquinas adecuadas y seguras para realizar estos procesos, el aprovechamiento del resultado producto de la transformación, se pueden constituir en energía eléctrica, mecánica, calorífica, etc., los mismos que el hombre los ha venido utilizando en las industrias para el desarrollo de la comunidad. Esto hace que las técnicas de generación y uso del vapor de agua se consideren importantes en el campo de la ingeniería electromecánica.

Como parte de la formación del Ingeniero Electromecánico, el estudio de la Termodinámica, Mecánica de Fluidos y Plantas de Vapor, ocupa un fundamental espacio dentro del proceso de enseñanza, aprendizaje, pero de momento solo se ha podido imbuir conocimientos teóricos al respecto, sin que el estudiante formado sea quien palpe los principios de cómo se dan en la realidad los diferentes fenómenos físicos, y procesos de transformación de la materia de manera directa, en la Carrera de Ingeniería Electromecánica es la evidente falta de laboratorios completamente equipados, conlleva a la formación de vacíos en el aprendizaje de los estudiantes en las aulas de nuestra alma mater, nuestro deber como estudiante durante el proceso de formación académica superior, es ampliar los conocimientos a través de la investigación, observación, entrevistas, etc..

En séptimo modulo tuvimos la oportunidad de construir un banco para generación de vapor en la materia de termodinámica, este trabajo modular nos permitió ampliar nuestros conocimientos en lo que tiene relación con transferencia de calor y equipos de generación de vapor, con esta experiencia nos afirmó el criterio de elegir nuestro tema de tesis: ***“Diseño y Construcción de un Caldero de 7,5 BHP para Generación de Vapor”***.

Con el desarrollo de nuestro proyecto de Diseño y Construcción nos permitirá demostrar que el egresado de la Carrera de Electromecánica está en capacidad de construir equipos para Generación de Vapor, y elaborar un texto guía de los diferentes contenidos de manera sencilla, y de fácil comprensión, los que servirán para que los estudiantes se familiaricen con las partes constitutivas de la caldera pirotubular de tubos rectos de tres pasos de construcción horizontal.

Por lo expuesto anteriormente, nuestra investigación está destinada a resolver el siguiente problema:

2.2 Problema general de Investigación

“Limitada practica en el desarrollo de habilidades y destrezas para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la UNL”

2.3 Delimitación

2.3.1 Problemas Específicos de Investigación

- Diseño y Construcción de un Caldero para Generación de Vapor
- Falta de un caldero, el cual permitirá visualizar el proceso de generación de vapor
- Escasos conocimiento de los estudiantes sobre los Calderos para generación de vapor, principio, características, capacidad, control

2.3.2 Tiempo

Para el desarrollo del proyecto de investigación y su respectiva ejecución, se requerirá de un periodo de 8 meses.

2.3.3 Unidades de Observación

- Información recopilada sobre el Diseño y Construcción de un Caldero para Generación de Vapor
- Proceso de construcción del Caldero para Generación de Vapor
- Socialización del trabajo

3. JUSTIFICACIÓN

3.1 Justificación

Nosotros como egresados, fieles a las enseñanzas de la Universidad Nacional de Loja y en especial de la carrera de Ingeniería Electromecánica, de servir a la comunidad, hemos considerado conveniente realizar el proyecto de tesis: “Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor”, con ello contribuir a la adecuada preparación de los futuros profesionales, generando alternativas para el desarrollo de sus destrezas a través de la elaboración del texto en cual servirá como fuente de consulta.

El presente proyecto es importante porque facilitará el estudio de unidades como: Termodinámica, Mecánica de Fluidos y Plantas de Vapor, que son primordiales en la formación del futuro Ingeniero Electromecánico.

La realización de esta investigación aportara con información teórica esencial, ya que, para su ejecución, se empleo técnicas de investigación recopilando datos actuales de acuerdo a las exigencias del medio.

3.2 Viabilidad

Una vez realizada la investigación preliminar, podemos decir que el proyecto es factible de realizarlo, debido a que existen los recursos suficientes para desarrollar el mismo.

Contamos con los recursos económicos y materiales para la ejecución del proyecto, o al presentarse imprevistos estaremos en la capacidad de solventarlos.

De igual manera disponemos con los recursos humanos aptos e indispensables para su desarrollo ya que estamos en la capacidad de resolver la problemática planteada, además contamos con docentes con experiencia y conocimientos suficientes, los cuales nos brindaran asesoría.

Igualmente tenemos el tiempo adecuado para llevar a cabo el proyecto propuesto.

Por ello consideramos que es viable dar solución al problema planteado, pues tenemos los conocimientos, guía, orientación y tiempo necesario para cumplir con los objetivos planteados para esta investigación.

4 OBJETIVOS

4.1 General

Diseñar y Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor, a través del cual podamos desarrollar las suficientes habilidades y destrezas, para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor.

4.2 Específicos

- Obtener a través de la investigación y la recopilación bibliográfica, toda la información requerida, para el Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor.
- Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor.
- Socializar el trabajo de investigación a lo interno de la Universidad Nacional de Loja, y con los actores del medio externo.

5. MARCO TEÓRICO

ÍNDICE

1. TERMODINÁMICA

1.1 Conceptos Básicos

2. VAPOR

2.1 Importancia de las aplicaciones de vapor

3. GENERACIÓN DE VAPOR

3.1 Principios básicos sobre generadores de vapor

3.2 Clasificación de las maquinas según su forma de combustión

4. CALDERAS DE VAPOR

4.1 Introducción

4.2 Generalidades

4.3 Clasificación de las calderas:

4.3.1 Por la energía consumida

4.3.2 Por la disponibilidad de los tubos

4.3.3 Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua

4.3.4 Por los métodos de circulación de agua

4.3.5 Por la presión de trabajo

4.3.6 Por el número de pasos o retornos

4.3.7 Por la disposición de los tubos

4.3.8 Por la posición de las calderas

4.3.9 Otras clasificaciones de calderas

4.4 Accesorios:

4.4.1 Sobrecalentadores de vapor

4.4.2 Economizadores

4.4.3 Precalentadores de aire

4.4.4 Manómetros

4.4.5 Quemadores

4.4.6 Indicadores de nivel

4.4.7 Válvulas de seguridad

4.4.8 Tapón fusible

4.4.9 Inyectores

4.4.10 Medidores de caudal

4.4.11 Medidor de temperatura

4.4.12 Medidores de carbón

4.4.13 Aparatos de alimentación

4.4.14 Válvula de cierre

5.4.4.15 Separadores de vapor

5.4.4.16 Entrada de hombre

4.4.17 Interruptores de bajo nivel

4.4.18 Grifos de prueba

4.4.19 Sopladores para hollín

4.4.20 Silbatos

4.4.21 Accesorios complementarios

1. TERMODINÁMICA

1.1 Conceptos Básicos

Energía: La energía está directamente relacionada con la materia. La energía se presenta en muchas formas, relacionándose entre sí por el hecho de que se puede hacer la conversión de una forma de energía a otra.

Vaporización: Es el cambio de un cuerpo de la fase líquida a la fase de vapor a la misma temperatura.

Evaporación: Es la vaporización de un líquido que tiene lugar exclusivamente en la superficie libre del líquido. Ejemplo: la evaporación del agua en el mar. La evaporación puede tener lugar a cualquier temperatura del líquido.

Ebullición: Es la vaporización de un líquido que tiene lugar en el seno mismo del líquido. La ebullición de un líquido tiene lugar a una temperatura, cuyo valor depende de la presión a que está el líquido, mientras mayor sea la presión mayor será la temperatura.

Condensación: Es el cambio de la fase de vapor a líquido a la misma temperatura.

Temperatura: de un cuerpo, es su estado térmico considerado como referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos.

Combustión: desprendimiento: sensible de luz y calor, del oxígeno del aire con el carbono, hidrógeno y azufre, que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

BTU: (British Thermal Unity) es una unidad de medida usada en el sistema inglés y por definición es: " La cantidad de calor que se necesita añadir o extraer a una libra de agua, para aumentar o disminuir su temperatura en 1° F".

Kilocaloría: Es una unidad de medida usada en el sistema MKS y por definición es: "La cantidad de calor que se necesita añadir o extraer a un kilo de agua, para aumentar o disminuir su temperatura en 1° C".

Calor

El calor es energía en transición (movimiento) de un cuerpo ó sistema a otro, solamente debido a una diferencia de temperatura entre los cuerpos o sistemas. Tres tipos de calor se encuentran presentes en el proceso y éstos son:

- Calor Sensible
- Calor Latente; y
- Calor Total

Calor Sensible: Se entiende por sensible, el calor que produce una elevación de temperatura en un cuerpo, sin que se realice un cambio de fase o de estado.

Calor Latente: Se entiende por calor latente la cantidad de calor que produce un cambio de estado (o fase) en un cuerpo a una temperatura constante, o sea sin que haya en ese momento variación de temperatura.

Calor Total: Es la suma del calor sensible más el calor latente.

Transferencia de calor

El calor puede transferirse de un punto a otro por tres métodos distintos: radiación, convección y conducción.

Radiación: Es el fenómeno de transferir el calor en forma de ondas similares a las ondas de la radio y de la luz. Así como la luz, estas ondas pasan libremente por el aire y otras materias transparentes sin efecto aparente en ellas; algunas superficies reflejan las ondas de calor igual que reflejan luz

Convección: Es la transferencia de calor por circulación dentro de un fluido cuando parte de éste se calienta. La parte caliente se expande y queda más liviana que el resto del fluido.

Como resultado la parte más pesada, o sea, la que no se ha calentado se hunde, y la caliente se levanta produciéndose así una circulación continua.

Conducción: Se efectúa cuando se transmite energía por contacto directo entre las moléculas de dos o más cuerpos que se encuentran en buen contacto térmico entre sí; o sea que las moléculas calentadas comunican su energía a las otras que se encuentran inmediatamente adyacentes a ellas.

En general, los sólidos conducen calor mejor que los líquidos y los líquidos mejor que los gases. Esto se explica debido a la diferencia de estructura molecular, puesto que las moléculas de un gas al encontrarse muy separadas, la transferencia de calor de molécula a molécula se torna más difícil.

Tenemos muchos ejemplos de conducción de calor en la operación de una planta a vapor y entre ellos tenemos el calor de los gases (producto de la combustión) dentro del hogar que llega hasta el agua dentro de la caldera por conducción a través de las paredes metálicas de la caldera y finalmente calienta el agua que está en contacto con el interior de estas paredes.

En ningún sistema de producción de calor se puede decir que la transferencia de calor se efectúa por un método en particular, más bien que se efectúa por una combinación de los tres, predominando alguno de ellos de acuerdo al tipo o naturaleza de la aplicación.

Presión del vapor

El aire que nos rodea (la atmósfera) ejerce una presión en todas las direcciones, sobre todas las superficies de los cuerpos; esta presión es la que se conoce como "Presión Atmosférica".

La presión atmosférica puede ser expresada en diferentes unidades de medida y entre ellas existe una equivalencia para efectos de conversión de unidades; así tenemos que:

$$1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ mm Hg.} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2 = 14.7 \text{ lbs/plg}^2 = 1.013 \text{ Bar}$$

Si se tiene un recipiente con agua al cual se le añade calor a medida que éste se incrementa se empezará a producir vapor.

En estas condiciones el vapor está a presión atmosférica. La temperatura del vapor a presión atmosférica, es por lo tanto la misma que la del agua hirviendo a la presión atmosférica, o sea 100°C.

Ahora, volviendo al caso de la caldera, por ser ésta un recipiente cerrado, cuanto más vapor se genera dentro de este recipiente, más espacio necesita, por lo tanto debe comprimirse. Por este motivo, el vapor se expande en todas las direcciones y ejerce presión sobre todo lo que lo rodea. Así, además de ejercer presión sobre las paredes de la caldera, el vapor ejerce la misma presión sobre la superficie del agua.

Cuando aumenta la presión sobre la superficie del agua, aumenta al mismo tiempo, la temperatura necesaria para que el agua hierva.

Mientras que a la presión atmosférica el agua hierve cuando alcanza la temperatura de 100°C, en cambio si la presión aumenta a 8 Kg. /cm.2, el punto de ebullición del agua se eleva a 170°C.

Ahora, aclarando algunos conceptos sobre presión se tiene lo siguiente:

Presión: Es la fuerza por unidad de área (o superficie) que se ejerce sobre un cuerpo.

Presión Manométrica: Es la presión que se mide en un manómetro,

Presión Absoluta: Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica.

Vapor saturado y vapor recalentado

El vapor en las calderas se mantiene a la misma temperatura que el agua hirviendo en ellas, este vapor contiene una pequeña cantidad de humedad y se llama vapor saturado.

La humedad del vapor saturado consiste en pequeñísimas gotitas de agua suspendidas en el vapor. Este vapor saturado es el que usan la mayor parte de las calderas industriales que existen en nuestro país; puesto que es usado principalmente como medio de calentamiento.

Sin embargo, el vapor saturado no es el más apropiado para el uso de las turbinas de vapor, como aquellas que usaba la Empresa Eléctrica del Ecuador; pues las partículas de agua suspendidas en el vapor gastarían las paletas de las turbinas.

Además, la condensación del vapor en tuberías, y turbinas disminuye la presión y rebaja el poder.

Estas dificultades se vencen pasando el vapor saturado por un recalentado, así el vapor se recalienta eliminando sus gotitas de agua y volviéndose completamente libre de humedad. A éste vapor se lo conoce con el nombre de vapor recalentado o sobrecalentado

Potencia calorífica

La potencia de una caldera se entiende por, la producción de 15.65 Kg. /h (34.5 lb. /h) de vapor saturado a 100° C (212° F) utilizando agua de alimentación a la misma temperatura. La unidad de equivalencia es BHP (Caballos Caldera).

$$1\text{BHP} = 33472 \text{ Btu/h} = 1399.5 \text{ pies}^2\text{E.DR.*} = 9.803 \text{ Kw.}$$

El término caballo caldera es una denominación antigua, pero que todavía se aplica para especificar la capacidad de calderas pequeñas (compactas), teniendo su origen en el hecho que una caldera al alimentar una máquina de vapor alternativa, ésta desarrollaba aproximadamente 1 BHP por cada 10 pies² (1m²) de superficie de calefacción de la caldera.

Factor de evaporación

Es la relación que existe entre la evaporación nominal desde y a 100 ° C (desde y a 212 ° F) y la evaporación real bajo las condiciones efectivas de trabajo de la caldera.

$$\text{Factor de evaporación} = \text{Evaporación Nominal} / \text{Evaporación Real}$$

Producción de vapor

Se entiende por producción de Vapor la cantidad de Kg. /h o de lbs/h de vapor equivalente producido por una caldera. En las calderas grandes generalmente, se usa esta denominación para expresar su capacidad de generación de vapor.

Estas capacidades son convertibles entre sí, tomando en cuenta la definición de caballo caldera.

Con la finalidad de manejar diferentes unidades en equipos generadores de vapor, se exponen tablas sobre equivalencia de presiones, y propiedades termodinámicas del vapor de agua.

2. VAPOR

2.1 Importancia de las aplicaciones de vapor

De las innumerables aplicaciones que tiene el vapor, éstos se pueden resumir en dos grupos; a saber:

- Generación de Poder, y
- En Procesos Industriales

De la primera aplicación, por ejemplo, el vapor es obtenido en grandes calderas y destinado a mover turbinas, las cuales a la vez mueven un generador, el que proporciona energía eléctrica, el vapor así utilizado es vapor recalentado.

Mientras que el vapor en procesos industriales tiene aplicaciones diversificadas, tales como para calefacción, para secar pasta de papel, cocinar alimentos, esterilizado, calentamiento de agua, etc., el vapor utilizado en estos procesos es vapor saturado.

3. GENERACIÓN DE VAPOR

3.1 Principios básicos sobre generadores de vapor

Las máquinas térmicas transforman la energía en la siguiente frecuencia de flujo.

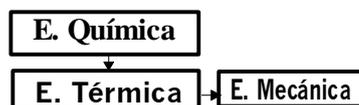


Fig. 1.1: Conversión de energía (a)

La Energía Química: Es aquella que libera el combustible (diesel, gas) al ser quemado en el hogar de la caldera y la convierte en Energía Térmica.

La energía térmica: es aquella que se transfiere al agua para generar vapor.

La transferencia de energía de un cuerpo a otro por diferencia de temperaturas es lo que se conoce como "Calor".

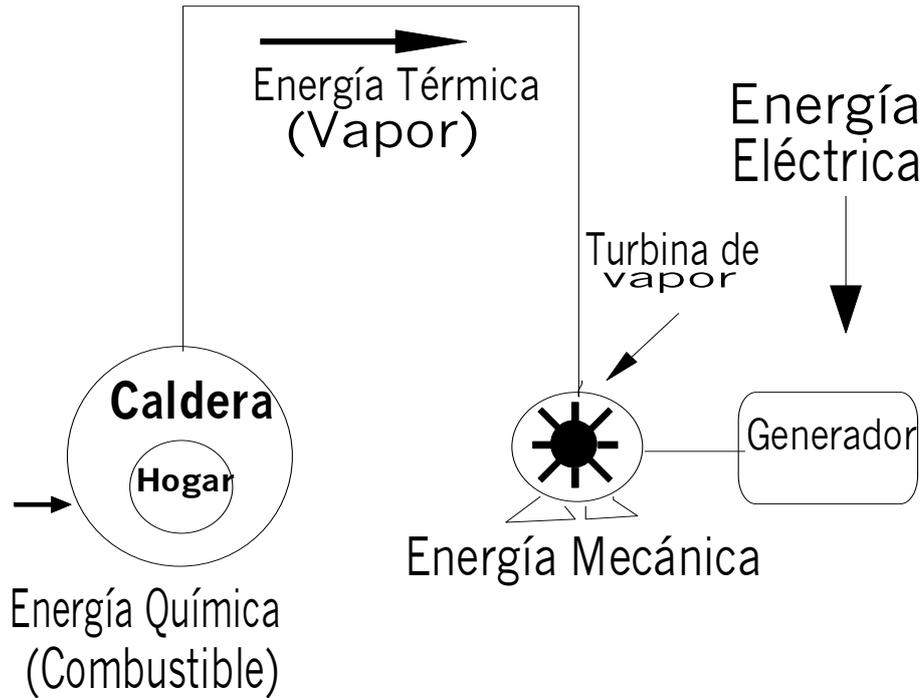


Fig. 1.2: Conversión de energía (b)

3.2 Clasificación de las máquinas según su forma de combustión

Las máquinas térmicas necesitan en general una fuente de generación de calor y esta fuente la constituye la combustión.

Según la forma como se realiza la combustión las máquinas térmicas se clasifican en:

- Máquinas de Combustión Interna
- Máquinas de Combustión Externa

Las de combustión interna son aquellas en cuyo interior se produce la combustión de una manera directa (energía química a energía mecánica). A este grupo pertenecen:

- Motores diesel, motores de gasolina y turbinas de gas

En las máquinas de combustión externa no se produce una conversión directa de energía. A este grupo pertenecen las siguientes:

- Calderas, Máquinas alternativas, y Turbinas de vapor.

4. CALDERAS DE VAPOR

4.1 Introducción

Las Calderas o Generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

Hasta principios del siglo XIX se usaron calderas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse ésta dejaba de producir trabajo útil.

Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua, de cilindros verticales. Ella fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa en el nuestro.

Máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años como agente motor, pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas. Entre sus desventajas encontramos la baja velocidad y (como consecuencia directa) el mayor peso por kW de potencia, necesidad de un mayor espacio para su instalación e inadaptabilidad para usar vapor a alta temperatura.

Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras para trenes tanto de carga como de pasajeros. Vemos una caldera multi-humotubular con haz de tubos amovibles, preparada para quemar carbón o lignito. El humo, es decir los gases de combustión caliente, pasan por el interior de los tubos cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos.

Para medir la potencia de la caldera, y como dato anecdótico, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie/minuto o sea 550 libras-pie/seg., valor que denominó HORSE POWER, potencia de un caballo.

Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo más de 76 kgm/seg. Pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.

Las calderas de vapor son unos aparatos en los que se hace hervir agua para producir vapor. El calor necesario para caldear y vaporizar el agua puede ser suministrado por un hogar, por gases calientes recuperados a la salida de otro aparato industrial (horno, por ejemplo), por el fluido refrigerador de una pila atómica, por irradiación solar o por una corriente eléctrica. Cuando el calor es suministrado por el líquido caliente o por vapor que se condensa, se suelen emplear otras denominaciones, tales como *vaporizador* y *transformador de vapor*. El sinónimo *generador de vapor* se emplea de preferencia cuando se habla de calderas de una cierta importancia. Si la caldera propiamente dicha está conectada a otros, de los cuales unos calientan el agua (*recalentadores de agua*, *economizadores*) o el aire de combustión (*precalentador de aire*), y otros recalientan el vapor (*recalentadores*), suele denominarse el conjunto *grupo evaporador*, y la parte del grupo en que se produce la evaporación se llama *vaporizador* o *haz vaporizador*. Los aparatos que quitan su vapor al fluido refrigerador de un reactor nuclear (pila atómica), si bien constituyen verdaderos evaporadores o calderas en sentido amplio de la palabra, se denominan normalmente *intercambiadores*. Durante su funcionamiento, la caldera propiamente dicha está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada. Los otros elementos del grupo recorridos por el agua o el vapor, a partir de la bomba de alimentación (economizador, recalentador), están sometidos casi a la misma presión, pero la temperatura del fluido puede ser inferior o superior a la ebullición.

La forma de las calderas de vapor ha evolucionado considerablemente y, sobre todo, se ha diversificado, incluso si nos limitamos a considerar las calderas calentadas por hogares. Las primeras calderas consistían esencialmente en recipientes cerrados, cuya parte inferior, llena de agua, estaba sometida a la irradiación de un hogar o al contacto

de gases calientes. Para obtener, además, grandes superficies de contacto, se construyeron más adelante *calderas con hervidores*, situados debajo del cuerpo cilíndrico principal y conectado a éste mediante conductos tubulares. En este sentido ha constituido una nueva etapa la aparición de las *calderas semitubulares*, cuyo cuerpo principal está atravesado por un haz tubular.

Otro medio de aprovechar mejor el calor producido en el hogar ha consistido en emplazar éste en el interior de la caldera, estando constituido por un cilindro de plancha, cuya superficie externa está enteramente bañada por el agua.

Generalidades

Las calderas de vapor, básicamente constan las siguientes partes:

Cámara de agua

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera.

El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms. por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores.

Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua.

Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 H de agua por cada m² de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, son muy rápidas en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

Cámara de vapor.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

Alimentadores

Casi cualquier carbón mineral puede quemarse con éxito en algún tipo de alimentador; Además, los materiales de desecho y subproductos, como el coque desmenuzado, los desechos de madera, la corteza, los residuos agrícolas como el bagazo y los desechos municipales que pueden quemarse como combustible básico o como auxiliar.

El área requerida para la parrilla, para un tipo y una capacidad dados de un alimentador, se determina por la rapidez máxima permisible de quemado por pie cuadrado, establecida por experiencia. El límite práctico de salida de vapor, en calderas con alimentación mecánica del combustible es cerca de 400 000 lb/h.

Pulverizadores

La combustión de carbón pulverizado rara vez se aplica en calderas de menos de 100 000 lb de vapor por hora, ya que el uso de los alimentadores es más económico para esas capacidades. En la mayor parte de las instalaciones se aplica el sistema de inyección directa, en el que el carbón y el aire pasan directamente de los pulverizadores a los quemadores, y la rapidez deseada de combustión se regula por la rapidez de pulverización. Algunos tipos de pulverizadores de inyección directa tienen la capacidad para moler 100 toneladas por hora.

El pulverizador proporciona la mezcla activa necesaria para secar el porcentaje de materia volátil en el combustible tiene la relación directa con la temperatura recomendada del aire primario para la combustión.

Quemadores

El propósito principal de un quemador es mezclar y dirigir el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa. En los quemadores de carbón pulverizado, una parte del 15 al 25% del aire, llamada aire primario, se mezcla inicialmente con el combustible para obtener un encendido rápido y actuar como un medio de transporte del combustible. La porción restante o aire secundario se introduce a través de registros en la caja de viento.

El quemador de tipo circular está diseñado para quemar carbón mineral y puede equiparse para quemar cualquier combinación de los tres combustibles principales, si se toman se toman las precauciones adecuadas para evitar la formación de coque en el elemento carbón, si se está quemando combustóleo y carbón mineral. Este diseño tiene una capacidad hasta de 165 millones de Btu/h para el carbón, y más elevada para combustóleo o gas.

Hogares

Un hogar es una cámara donde se efectúa la combustión. La cámara confina el producto de la combustión y puede resistir las altas temperaturas que se presentan y las presiones que se utilizan. Sus dimensiones y geometría se adaptan a la velocidad de liberación del calor, el tipo de combustible y al método de combustión, de tal manera que se haga lo

posible por tener una combustión completa y se proporcione un medio apropiado para eliminar la ceniza.

Los hogares enfriados por agua se utilizan con la mayor parte de unidades de calderas, es decir en su gran mayoría, y para todos los tipos de combustible y métodos de combustión. El enfriamiento por agua de las paredes del hogar reduce la transferencia de calor hacia los elementos estructurales y, en consecuencia, puede limitarse su temperatura a la que satisfaga los requisitos de resistencia mecánica y resistencia a la oxidación. Las construcciones de tubos enfriados por agua facilitan el logro de grandes dimensiones del hogar y optimas de techos, tolvas, arcos y montajes de los quemadores, así como el uso de pantallas tubulares, planchas o paredes divisoras, para aumentar la superficie absorbente del calor en la zona de combustión. El uso de hogares con enfriamiento por agua reduce las pérdidas de calor al exterior.

Las superficies absorbentes del calor en el Hogar, lo reciben de los productos de combustión, en consecuencia, contribuyen directamente a la generación de vapor, bajando al mismo tiempo la temperatura de los gases que sales del mismo. Los principales mecanismos de transferencia de calor se efectúan en forma simultánea. Estos mecanismos incluyen la radiación entre sólidos que proviene del lecho de combustible o de las partículas de combustible, la radiación no luminosa de los productos de la combustión, la transferencia de calor por convección de los gases del hogar y la conducción de calor a través de los materiales metálicos de los depósitos y tubos. La eficacia de la absorción de las superficies del hogar es influida por los depósitos de ceniza o escoria.

Los hornos difieren en tamaño y forma, en la localización y esparcimiento de los quemadores, en la disposición de la superficie absorbente del calor y de la distribución de los arcos y tolvas. La forma de la llama y su longitud afectan la geometría de la radiación, la velocidad y distribución de absorción del calor por las superficies enfriadas por agua.

Las soluciones analíticas de la transferencia de calor en los hogares de las unidades generadoras de vapor son extremadamente complejas, y es muy difícil calcular la temperatura de los gases a la salida del hogar por métodos teóricos. Sin embargo, se debe predecir la temperatura de estos gases en forma precisa, ya que esta temperatura

determina el diseño del resto de la unidad de la caldera, en particular el del sobrecalentador y del recalentador. Los cálculos deben de basarse en resultados obtenidos en pruebas, complementados por datos acumulados por la experiencia en operación y juicios, basándose en el conocimiento de los principios de la transferencia de calor y de las características de los combustibles y escorias. Este método se suma a los sistemas aventadores de hollín.

Sistemas aventadores de hollín

Aun cuando la escorificación y la incrustación de las calderas que queman carbón mineral y combustóleo puedan minimizarse mediante el diseño y la operación apropiados, debe suministrarse equipo auxiliar para limpiar las paredes del hogar y eliminar los depósitos de las superficies de convección, para mantener la capacidad y la eficiencia. Chorros de vapor de agua y de aire lanzados por las toberas de los aventadores de hollín desalojan la ceniza seca o sintetizada y la escoria, las que entonces caen en tolvas o se van junto con los productos gaseosos de la combustión al equipo de eliminación.

Los tipos aventadores de hollín varían en relación con su ubicación en la unidad de la caldera, la severidad de la ceniza o las condiciones de la escoria, y la disposición de las superficies que absorben calor.

4.2 Clasificación de las calderas:

Al hacer la clasificación de las calderas, se trata de establecer las principales características distintivas de los diversos tipos de instalaciones que se necesitan para obtener vapor. Sin embargo, es necesario aclarar que al señalar a una caldera en una clasificación determinada, como por ejemplo, sea del tipo acuatubular, esto no implica de que no pueda estar identificada con otra u otras clasificaciones, siguiendo con el mismo ejemplo, esta caldera también se la podría señalar como: con tubos, de tubos rectos, de tres pasos, de circulación forzada, de alta presión, de energía química, de búnker, etc.

De esta forma, se podría establecer la clasificación de la caldera bajo las siguientes bases:

- por la energía consumida
- por la disponibilidad de los tubos
- por la situación relativa de los espacios de combustión y agua
- por los métodos de circulación de agua
- por la presión de trabajo
- por el número de pasos o retornos
- por la disposición de los tubos
- por la posición de las calderas

4.2.1 Por la energía consumida

De acuerdo a esta clasificación, se tiene:

- Energía Eléctrica, (calderas eléctricas)
- Energía Química.

Por energía química se entiende al combustible (como elemento químico) que quemaría una caldera para generar vapor y según el tipo de combustible, la clasificación sería la siguiente:

- Bunker
- Diesel 2
- Diesel 1
- Gas Natural
- Bagazo de caña de azúcar

4.2.2 Por la disponibilidad de los tubos

En esta clasificación se encuentran las calderas:

- sin tubos, y
- con tubos

Las Calderas sin tubos, llamadas así, porque para su funcionamiento no llevan tubos en su construcción.

Esta innovación en la construcción de calderas presenta muchas ventajas en su rendimiento, durabilidad y operación económica, además que es completamente automática, se la encuentra en modelos que van de 1.2 a 80 HP. Según sea el requerimiento del usuario. Existen actualmente las calderas sin tubo fabricadas por marcas reconocidas como York Shipley y la propia marca Fulton.

Las Calderas con Tubos, corresponden a las que encontramos normalmente en la industria, y que se verán en todos los tipos de calderas que se describan en las demás clasificaciones.

4.2.3 Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua

Esta clasificación podría también mencionarse, con relación a los pasos de flujo de los gases de combustión del agua y del vapor, desde este punto de vista se dividen en dos tipos generales:

- Calderas de tubos de Agua (Acuatubulares)
 - ❖ Tipo Cabezal
 - ❖ Tres Colectores
 - ❖ Dos Colectores
- Calderas de Tubos de Fuego (Piro tubular o de humo)

La principal diferencia entre estos tres tipos de calderas de tubos de agua es:

- El número y colocación de los colectores y tubos que contienen el agua y vapor;
- El tamaño de los tubos; y
- Su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

4.2.4 Por los métodos de circulación de agua

Las calderas de tubos de agua se clasifican según los métodos de circulación del agua contenida, de la siguiente manera:

- Circulación Natural (limitada)
- Circulación Forzada

La designación Circulación Natural se aplica a todas las calderas en las cuales la circulación del agua a través de los circuitos de la caldera, depende únicamente de la diferencia de densidades entre un cuerpo que desciende que es el agua relativamente fría, y de otro cuerpo que asciende que es el agua caliente, que contiene burbujas de vapor. La cantidad de agua de alimentación suministrada es siempre igual a la cantidad de vapor generado.

La Circulación Forzada, son efectuadas por medio de bombas externas a las calderas, que mantienen un flujo continuo de agua a través de los circuitos de la caldera. En la caldera de circulación forzada, mayor cantidad de agua es bombeada a través de los circuitos que la que se transforma en vapor. En una caldera de circulación forzada (de un solo paso), la cantidad de agua de alimentación bombeada dentro de los circuitos es la misma que la cantidad de vapor extraída.

4.2.5 Por la presión de trabajo

Según la presión de trabajo las calderas se clasifican en:

- Calderas de alta presión
- Calderas de baja presión

Las calderas de Alta Presión son generalmente usadas cuando las demandas de vapor son extremadamente grandes y sobre todo cuando hay requerimiento indispensable de vapor recalentado; estas calderas generalmente son del tipo de tubos de agua (acuatubulares) y operan a presiones superiores a 20 Kg./cm²; o sea superiores a 284,4 lbs/plg². Su uso principal es en plantas eléctricas que operan con turbinas a vapor.

Las calderas de baja presión son en cambio las más usadas en el campo industrial y generalmente operan con vapor saturado a presiones del orden de 7-8 Kg. /cm², cierto número llega a los 10 Kg. /cm² y unas pocas a 18 Kg. /cm², pero sin sobrepasar este último valor. En este grupo de calderas se encuentran generalmente las calderas de tubos de fuego (Piro tubulares).

4.2.6 Por el número de pasos o retornos

Se entiende por pasos en una caldera, la pasada de gas proveniente del hogar hacia el sitio alrededor de los tubos de agua, (calderas Acuatubulares) o la pasada de gas a través de los tubos de fuego en cada cambio de dirección de flujo (calderas Piro tubulares). De acuerdo con este criterio, las calderas se clasifican en:

- Un paso
- Dos pasos
- Tres pasos
- Cuatro pasos

Las calderas industriales de amplia aceptación en la actualidad, para producción de vapor saturado con presión de hasta 18Kg/cm², son calderas de tres y cuatro pasos.

En el caso de las calderas sin tubos, se entiende que paso sería la circulación de los gases a través de las nervaduras con cambio de dirección de flujo.

En el caso de las calderas de tres pasos, se obtiene el 60% de eficiencia en el hogar con cada uno de los pasos restantes contando el 20% este tipo de calderas tienen el hogar centrado, lo cual implica la eliminación del cieno entre el hogar y el fondo de la carcasa, además del hecho de ser todos los tubos de igual tamaños proporciona igual tensión y presión en los espejos.

Mientras que en el caso de las calderas de cuatro pasos, se obtiene el 40% de eficiencia en los tubos del hogar y el 60% restante es obtenido en los otros pasos. Es imperativo que los gases de combustión del cuarto paso sean detenidos sobre el punto en que tiene lugar la formación del rocío, o una seria condensación ocurrirá en los tubos, recámara o en los espejos, dando por resultado una severa corrosión. Este tipo de calderas tiene el hogar más pequeño, respecto del citado anteriormente; además, el hogar es colocado en forma descentrada.

4.2.7 Por la disposición de los tubos

A las calderas también se las puede clasificar por la disposición de los tubos, así:

- de tubos rectos
- de tubos inclinados, y
- de tubos curvos

4.2.8 Por la posición de las calderas

En este aspecto podríamos incluir solamente a las calderas Piro tubulares, las cuales se clasificarían según su posición en el piso sobre el cual van montadas en:

- verticales
- horizontales

4.2.9 Otras clasificaciones de calderas

Otra forma de clasificación de las calderas, es conveniente hacer de acuerdo a la evolución técnica de la construcción de las mismas.

Históricamente hablando, se conoce que de acuerdo a su construcción original, las calderas eran recipientes cilíndricos que contenían el agua a vaporizar con hogar externo, luego tratando de reducir las pérdidas que se producían se les construyó con hogar interior, posteriormente para un mayor aprovechamiento del calor producido, el agua se hacía pasar por los conductos de humo. Cuando la presión y la temperatura resultaron insuficientes, se recurrió a la construcción de las llamadas calderas Acuatubulares, que en principio hacían la circulación del agua en forma natural, también llamada termosifón.

Luego, a fin de obtener valores mayores de presión y temperatura se procedió a construir calderas de circulación forzada; en esta evolución de la técnica se llega a las calderas de radiación y de alta presión.

4.3 Accesorios:

Los accesorios son indispensables para la seguridad, para la economía y para la comodidad. Los accesorios externos incluyen los indicadores de nivel y grifos de prueba, drenes y válvulas de purga (de la superficie y del fondo), válvulas de seguridad o de alivio, grifos de ventilación (purga de aire) y trampas de vapor, conexiones para

muestras de agua, válvulas de retención (protección contra retroceso), tapones fusibles, silbatos, sopladores de hollín e inyectores de aire por encima del fuego.

Entre los accesorios de medición de para el control de las condiciones de operación de la caldera, están incluidos los manómetros, indicadores del nivel de agua, termómetros, medidores de caudal para vapor y aparatos de alarma.

4.3.1 Sobrecalentadores de vapor

Los sobrecalentadores o llamados también indistintamente recalentadores de vapor, son elementos que permiten elevar la temperatura del vapor producido dentro de la caldera, manteniendo constantemente la presión del mismo; transforman el vapor saturado en vapor recalentado haciendo disminuir el peligro de que esté se condense dentro de la máquina, ya que el vapor que llega a la fuente de consumo lo hace en estado más seco. Mediante el empleo de recalentadores, se puede llevar la temperatura del vapor hasta 350 °C aproximadamente.

Los sobrecalentadores son de acero dulce, cuando la temperatura de recalentamiento no es superior a los 450 °C, para temperaturas comprendidas entre 450 y 475 °C, se usa acero dulce, al que se le agrega 0.5 % de molibdeno, para mayores temperaturas, se utilizan aleaciones de acero con bajo contenido de carbono, ya que este tipo de acero permite efectuar las soldaduras necesarias, sin necesidad de efectuar un precalentamiento previo del tubo.

Existen dos tipos de recalentadores, el de radiación y el de convección. El primer tipo, el elemento calefactor lo constituye el calor radiado por la combustión. En el segundo caso, son los gases de combustión son los que ceden calor al vapor.

4.3.2 Economizadores

Los economizadores son serpentines en donde se calienta el agua que va a ingresar a la caldera, utilizando como elemento calefactor a los mismos gases de combustión.

Al ser mayor la temperatura del agua que ingresa la caldera, menor será la cantidad de calor necesaria para producir su vaporización. Además al darle una mayor utilización a los gases de combustión, se consigue aumentar el rendimiento de la caldera.

Los economizadores se clasifican en:

- Integral,
- tipo accesible,
- de tubo continuo
- y de prevaporización.

4.3.3 Precalentadores de aire

El objeto de los precalentadores de aire es calentar el aire que se envía al hogar para la combustión, aprovechando parte del calor contenido en los humos antes que éstos lleguen a la chimenea. El calor así recuperado, que vuelve al hogar, representa economía del combustible y el aumento del rendimiento de la caldera.

4.3.4 Manómetros

El manómetro es un aparato destinado a medir la presión que reina en la caldera. El conocimiento de esa presión es necesario desde el punto de vista de seguridad y del funcionamiento económico de la unidad generadora de vapor.

Al actuar la presión del vapor en el interior del tubo, su extremo libre describe un pequeño movimiento que amplifica el sistema de palancas que actúa sobre el sector dentado, que hace girar al piñón solidario con la aguja indicadora.

4.3.5 Quemadores

Los quemadores son accesorios principales en las calderas. Su objeto es mezclar el aire con el combustible o viceversa para luego introducirlo a presión en forma de llama incandescente al interior de la caldera.

De acuerdo con la forma como se alimenta el aire, se puede clasificar los quemadores en dos categorías:

- Quemadores de alimentación separada de aire y gas
- Quemadores de mezcla previa

- Quemadores de combustión tangencial
- Quemadores de tipo turbina

4.3.6 Indicadores de nivel

Las calderas deben estar provistas, como mínimo, de dos aparatos que permitan conocer la altura del nivel de agua, constituido por un indicador de tubo de cristal. Este consiste esencialmente de un tubo en posición vertical y cuyas extremidades se comunican con la cámara de vapor y con la cámara de agua de la caldera, así el agua que está última y la que hay en el tubo se encuentra en el mismo nivel. El grifo debe abrirse periódicamente para expulsar las sustancias extrañas que se depositan en el fondo del tubo.

4.3.7 Válvulas de seguridad

La misión de las válvulas de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de trabajo para la cual se ha proyectado y construido, es decir, que protege a la caldera de presiones excesivas.

Toda caldera fija debe estar equipada con una válvula de seguridad, que funcione con absoluta confianza. Las calderas móviles, dos válvulas de este tipo.

Las dimensiones de este accesorio deben permitir que escape a la atmósfera todo el vapor que se genera con la actividad máxima de combustión cuando la toma de vapor está cerrada.

4.3.8 Tapón fusible

Es un elemento de alarma que se instala en la caldera en aquel punto de la superficie de calefacción más abajo del cual no debe descender el nivel del agua, por los peligros que ello entraña

4.3.9 Inyectores

Aparato sumamente sencillo que se utiliza para alimentar a las calderas. Su simplicidad, ausencia de partes móviles y el poco espacio que ocupa, hace que sea preferido a las bombas de pistón.

4.3.10 Medidores de caudal

En las instalaciones generadoras de vapor se usan aparatos para medir y registrar los caudales de vapor, del agua de alimentación y del aire para la combustión.

4.3.11 Medidor de temperatura

Con este medidor registrador se obtiene el valor de la temperatura media de los gases que abandonan la superficie de calefacción de la caldera.

4.3.12 Medidores de carbón

Para determinar el rendimiento de una instalación de vapor es necesario conocer también el consumo de carbón.

En las instalaciones con hogares de carga a mano se suelen emplear balanzas para pesar el carbón antes de enviarlo a la carbonera de la sala de caldera. Este método no permite obtener indicaciones sobre consumo individual de las calderas, para ello sería necesario pesar el combustible que se carga en cada caldera. En vez de balanzas se puede recurrir al método volumétrico, que consiste en llenar un recipiente, de volumen conocido y anotar las veces que se lo ha llenado. El peso se obtiene multiplicando el volumen gastado por el peso específico del carbón tal como se lo carga. Este peso, para carbones de la misma procedencia se mantiene aproximadamente constante, teniendo poca influencia, sobre la relación volumen / peso, el tamaño del grano de carbón, mientras que se lo mantenga dentro de ciertos límites.

4.3.13 Aparatos de alimentación

Son aparatos destinados a reponer el agua que se está vaporizando. Se los coloca por encima del nivel mínimo de agua tratando de alejarlo de la chapa calentada por el fuego de la cámara de vapor.

Por seguridad se colocan dos aparatos de reposición de agua. Es conveniente que la capacidad de ellos sea superior a la cantidad total de agua que contiene la caldera.

4.3.14 Válvula de cierre

Son válvulas que permiten el pasaje del agua a la caldera, e impiden el retroceso de la misma. Estas válvulas son accionadas a mano.

4.3.15 Separadores de vapor

Es un accesorio que se lo coloca lo más cerca posible de las máquinas de consumo. Se lo utiliza en aquellas calderas que no poseen calentadores de vapor. Separan del vapor la cantidad de agua éste arrastra, haciendo que llegue a la máquina de consumo solamente vapor seco, impidiendo que llegue el humo dañándola.

4.3.16 Entrada de hombre

Es una abertura practicada en el colector de la caldera que permite la entrada del operario al interior de la misma a los efectos de efectuar la limpieza o reparación. Esta es de forma circular, se abre hacia adentro de manera que la presión del vapor la mantenga cerrada.

4.3.17 Interruptores de bajo nivel

Todas las calderas de operación automáticas tienen que estar equipadas con un interruptor de bajo nivel de agua, el cual impide el funcionamiento del quemador, mientras no haya suficiente agua en la caldera. Un modelo tipo de este dispositivo consiste en un flotador que actúa sobre un interruptor eléctrico.

4.3.18 Grifos de prueba

Se colocan válvulas o grifos de prueba a tres niveles diferentes del indicador de nivel, lo que permite al operador cerciorarse de que el nivel del agua en la caldera coincide con la indicación del tubo de vidrio.

4.3.19 Sopladores para hollín

Los ductos de pasos, en el lado del fuego tienen la tendencia a la acumulación de hollín y ceniza volátil para disgregar esos materiales producidos por la combustión, se emplean boquillas para lanzar chorros de aire o vapor permanentemente instalados.

4.3.20 Silbatos

En las fábricas pueden instalarse silbatos operados por vapor. Estos se indican para señalarse entrada y salida de trabajo o como sistema de alarma en caso de incendio, nivel bajo y otras situaciones de emergencias. En los barcos se emplean para dar señales de navegación, que no solamente se perciben por audición ya que la salida de vapor puede ser vista.

4.3.21 Accesorios complementarios

Tapones de limpieza: permiten efectuar el retiro de impurezas.

Válvulas de vaciado: permite efectuar el vaciado de la caldera.

6. METODOLOGIA

6.1 Matriz de Consistencia General

PROBLEMA	“Limitado desarrollo de habilidades y destrezas para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la UNL”		
TEMA	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN
“Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor”	Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor	Diseñar y Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor, a través del cual podamos desarrollar las suficientes habilidades y destrezas, para la selección y explotación de sistemas de generación de vapor	Es factible la construcción de un Caldera de 7.5 BHP para Generación de Vapor, el mismo que nos permita reafirmar los conocimientos y demostrar nuestras habilidades y destrezas en la selección de explotación de sistemas de generación de vapor

6.2 Materiales, Métodos y Técnicas de Trabajo

6.2.1 Materiales

Estos son:

- Material Bibliográfico: libros, revistas, folletos, artículos, noticias, reportajes, Publicaciones, etc.
- Material de Oficina: papel bond, borrador, esferos, impresiones, CDS, empastados, alquiler de In-focus, copias seros, Etc.
- Computadora
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Internet
- Movilización

6.2.2 Métodos

Por la naturaleza de la presente investigación que es de carácter exploratoria, experimental y explicativa, la cual se sustenta y aplica los principios del método científico, que permitirá dinamizar los procesos de construcción del conocimiento científico, mediante la interacción entre el objeto investigado y los métodos de apoyo como son: descriptivo, analítico-sintético, inductivo-deductivo, matemático.

El método descriptivo, sirvió para la formulación de la problemática del proyecto de investigación. Mediante éste método se describió las características, los datos empíricos, los criterios, juicios, conceptos y teorías.

El método analítico-sintético, sirvió para la construcción del marco teórico de la investigación. Con el análisis y la síntesis de diferentes teorías y procesos sobre el diseño y construcción de calderos para generación de vapor, se identificaron, seleccionaron y se construyó el marco teórico del proyecto de investigación, que permite explicar en forma clara y coherente el tema y los objetivos planteados.

El método inductivo-deductivo, en correspondencia con el analítico-sintético, servirá para abstraer mediante la lógica teorías y conceptos pertinentes, facilitando deducir conclusiones y recomendaciones del trabajo a realizar.

El método matemático, servirá ya que esta investigación se caracterizara por manejar información esencialmente de tipo objetiva, con valores y datos numéricos medibles

como producto de la misma, de esta manera permitirá obtener los datos exactos para poderlos cuantificar y comprobar las teorías.

6.2.3 Técnicas de trabajo

Además en la presente investigación se requerirá de técnicas como: la observación, la entrevista y la encuesta, utilizadas de acuerdo a la naturaleza de la información requerida.

La observación, que nos ayudara a tener una percepción ordenada, consciente y sistemática de los fenómenos que ocurren en la generación de vapor.

La entrevista, consiste en entablar una conversación seria con cada una de las personas involucradas directamente con los sistemas de generación de vapor, con el propósito de extraer la mayor cantidad información.

La Encuesta, la que a través de cuestionarios adecuados nos permitirán recopilar datos esenciales para la investigación, de igual manera aplicada a personas involucradas directamente con nuestro tema.

7 CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	1er. MES				2do. MES				3er. MES				4to. MES			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Selección del tema	x															
Consultar e investigar sobre calderos para generación de vapor		x	x													
Análisis y sinterización de la información				x	x											
Presentación y aprobación del proyecto de tesis						x	x									
Cálculo y diseño de los equipos adecuados para el caldero								x	x							
Adquisición de los accesorios y piezas necesarios para el montaje del caldero										x	x	x				
Construcción y montaje del caldero													x	x	x	x

8 PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

El presupuesto que se detalla a continuación es responsabilidad exclusiva de los autores del presente trabajo y será financiado totalmente por los mismos.

No.	ACTIVIDAD O TAREA	VALOR (dólares)
1	Consultas e investigaciones	\$ 200,00
2	Elaboración de proyecto	\$ 200,00
3	Cálculos y diseño	\$ 300,00
4	Adquisición de accesorios y piezas necesarias	\$ 2.000,00
5	Construcción y montaje	\$ 600,00
6	Pruebas experimentales	\$ 100,00
7	Documento final de tesis	\$ 200,00
8	Elaboración de diapositivas	\$ 50,00
9	Exposición final	\$ 100,00
10	Asesoría profesional	\$ 400,00
TOTAL		\$ 4.250,00

9 BIBLIOGRAFIA

LIBROS

1. DAVILA, J. A.; PAJON, J. 2003. Mecánica Aplicada. Teoría Básica para el diseño y cálculo de tuberías, elementos de máquinas y recipientes a presión.
2. FRANQUINI, Joseph; FINCMORE, John. 1997. Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería. España, McGraw – Hill, 736p.

TESIS

3. TORRES, Marco; QUITUÑA, Víctor; VIVANCO, Jimmy. 2008. Diseño y Construcción de un banco de ensayos didácticos para generación eléctrica y aerobombazo, utilizando energía eólica. (Tesis Ing. Electromecánico) Loja Ecuador, Universidad Nacional de Loja. AEIRNNR.

SITIOS WEB

4. DUARTE, Álvaro. 2002. Calderas y generadores de vapor. [en línea], [<http://www.rincondelvago.com/>], [Consulta: 14 noviembre 2008].
5. GRUPO CALDERAS POWERMASTER. 2008. Calderas: tipos, diseño, evaluación, confiabilidad, facilidad de operación, mantenimiento, servicio. [en línea], [<http://www.google.com/>], [Consulta: 3 abril 2009].
6. HERNANDEZ, Javier. 2003. Calderas de vapor y aceite térmico. [en línea], [<http://www.calderasvapor.com/>], [Consulta: 6 mayo 2008].
7. MARQUÉZ, Claudio. 2006. Proceso de generación de vapor. [en línea], [<http://www.monografias.com/>], [Consulta: 20 febrero 2009].

10 ANEXOS

10.1 Matrices de Consistencia Específica

PROBLEMA ESPECÍFICO	Diseño y Construcción de un Caldero para Generación de Vapor		
OBJETIVO ESPECÍFICO 1	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	UNIDADES DE OBSERVACIÓN	SISTEMA CATEGORIAL
<p>Obtener a través de la investigación y la recopilación bibliográfica, toda la información requerida, para el Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor</p>	<p>Mediante la investigación, el análisis y la síntesis se logrará conocer acerca del Diseño y Construcción de un Caldero para Generación de Vapor</p>	<p>Información recopilada sobre el Diseño y Construcción de un Caldero para Generación de Vapor</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Termodinámica aplicada. ▪ Mecánica de Fluidos ▪ Plantas de vapor ▪ Automatización Industrial

PROBLEMA ESPECÍFICO	Falta de un caldero, el cual permitirá visualizar el proceso de generación de vapor		
OBJETIVO ESPECÍFICO 2	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	UNIDADES DE OBSERVACIÓN	SISTEMA CATEGORIAL
Construir un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor	Es factible construir un Caldero que demuestre el principio de Generación de Vapor	Proceso de construcción del Caldero para Generación de Vapor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección de materiales ▪ Proceso de construcción ▪ Variables: temperatura, presión y caudal ▪ Arranque automático

PROBLEMA ESPECÍFICO	Escasos conocimiento de los estudiantes sobre los Calderos para generación de vapor, principio, características, capacidad, control		
OBJETIVO ESPECÍFICO 3	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	UNIDADES DE OBSERVACIÓN	SISTEMA CATEGORIAL
Socializar el trabajo de investigación a lo interno de la Universidad Nacional de Loja, y con los actores del medio externo	Mediante la socialización de nuestro trabajo daremos a conocer la importancia de la transformación de energía, el proceso de generación de vapor y su utilidad en la industria moderna	Socialización del trabajo	Exposiciones sobre el tema de generación de vapor y automatización

10.2 Matrices de Operatividad de Objetivos Específicos

OBJETIVO ESPECÍFICO 1		Obtener a través de la investigación y la recopilación bibliográfica, toda la información requerida, para el Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de vapor				
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Consultar e investigar sobre calderos para generación de vapor	Se consultara e investigara en bibliotecas y en el internet toda la información requerida	02/03/2009	13/03/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 200,00	Disponer de copias y documentos en digital de la toda la información recopilada
Analizar y sintetizar toda la información (elaboración del proyecto)	Se preparara, clasificara y organizara la información obtenida	16/03/2009	27/03/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 200,00	Contar con un documento impreso de toda la información sistematizada

OBJETIVO ESPECÍFICO 2		Construir un Caldero Didáctico de 7.5 BHP para Generación de vapor				
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Cálculo y diseño de los equipos adecuados para el caldero	Se consultara en bibliotecas, internet, docentes y profesionales entendidos en la materia, sobre los cálculos requeridos para el diseño del caldero	13/04/2009	24/04/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 300,00	Obtener los esquemas definitivos y resultados de los cálculos
Adquisición de los accesorios y piezas necesarios para el montaje del caldero	Se averiguara el lugar donde adquirir dichos accesorios	27/04/2009	15/05/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 2000,00	Contar con todos los accesorios y piezas requeridas
Construcción y	Se construirá y	18/05/2009	10/07/2009	Robert Córdova	\$ 600,00	Contar con un

montaje del caldero	montara todos los elementos, piezas y accesorios del caldero siguiendo los esquemas y los procesos establecidos			José Larreátegui		caldero didáctico que permita demostrar el principio de generación de vapor
---------------------	---	--	--	------------------	--	---

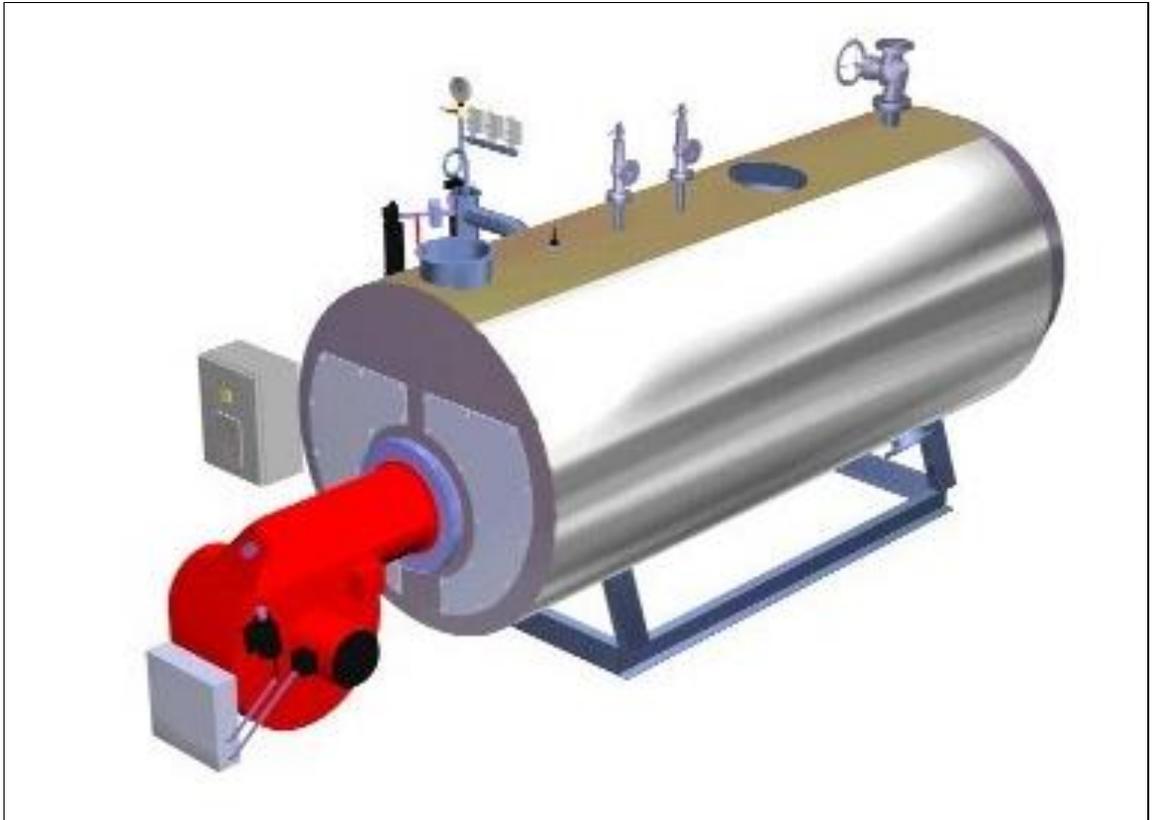
OBJETIVO ESPECÍFICO 3		Socializar el trabajo de investigación a lo interno de la Universidad Nacional de Loja, y con los actores del medio externo					
		ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO
INICIO	FINAL						
Elaborar el documento final de Tesis para su presentación y exposición		Se elaborara un documento claro y conciso que detalle los resultados obtenidos	24/08/2009	04/09/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 200,00	Contar con el documento impreso de la Tesis de grado
Elaborar las diapositivas necesarias para socializar el trabajo		Se las elaborara siguiendo el esquema para la elaboración de ponencias	21/09/2009	25/09/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 50,00	Disponer de las diapositivas y la información necesaria para la socialización

Exposición final de la tesis de grado	Se difundirá el trabajo a través de una socialización a los compañeros de la carrera de Ingeniería Electromecánica y público en general	28/09/2009	02/10/2009	Robert Córdova José Larreátegui	\$ 100,00	Socializar los resultados obtenidos en el trabajo realizado
---------------------------------------	---	------------	------------	------------------------------------	-----------	---

10.3 Matriz de Control de Resultados

No.	RESULTADOS	FECHA	FIRMA DEL DIRECTOR DE TESIS
1	Disponer de copias y documentos en digital de la toda la información recopilada	13/03/2009	
2	Contar con un documento impreso de toda la información sistematizada	27/03/2009	
3	Obtener los esquemas definitivos y resultados de los cálculos	24/04/2009	
4	Contar con todos los accesorios y piezas requeridas	15/05/2009	
5	Contar con un caldero que permita demostrar el principio de generación de vapor	10/07/2009	
6	Contar con el documento impreso de la Tesis de grado	04/09/2009	
7	Disponer de las diapositivas y la información necesaria para la socialización	25/09/2009	
8	Socializar los resultados obtenidos en el trabajo realizado	02/10/2009	

10.4 Esquema General del Caldero



Consta básicamente de:

- Cámara de agua
- Cámara de vapor
- Equipos de medición y control:
 - ❖ Medidor de presión (Presostato)
 - ❖ Medidor de nivel de agua
 - ❖ Válvula de seguridad (Evacuación de exceso de presión)
 - ❖ Válvula de purga de fondo (Evacuación de sólidos)
- Equipos auxiliares
 - ❖ Quemador
 - ❖ Bomba de alimentación
 - ❖ Grifería

10.5 Características Técnicas del Proyecto

- **Tipo del caldero:** Pirutubular (tubos de humo)
- **Número de pasos:** 3
- **Posición:** Horizontal
- **Tipo de circulación:** Circulación natural
- **Capacidad:** 7.5 BHP
- **Presión de trabajo:** 30 PSI
- **Tipo de combustible:** diesel
- **Tipo de vapor a obtener:** Vapor saturado
- **Dimensiones generales:** Largo de la máquina: 1 m
Diámetro de la máquina: 0.6 m
- **Controles automatizados:** Control de nivel
Control de presión
- **Materiales a emplearse:** Plancha SAE 285 grado "C"-515 grado "C"
Tubos ASTM 178 grado "A"-179 grado "B"