



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN
GENERADOR DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE
TRANSFERENCIA DE CALOR”**

**PUNINA GUERRERO DIEGO JAVIER
ARCOS ROBAYO JUAN RAFAEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-07-30

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JUAN RAFAEL ARCOS ROBAYO

Titulada:

“DISEÑO CONSTRUCCION E INSTALACION DE UN GENERADOR DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ángel Jácome
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Geovanny Novillo A.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-07-30

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO

Titulada:

“DISEÑO CONSTRUCCION E INSTALACION DE UN GENERADOR DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ángel Jácome
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Geovanny Novillo A.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN RAFAEL ARCOS ROBAYO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN GENERADOR DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR”

Fecha de Examinación: 2014-02-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Jácome d. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Geovanny Novillo A. ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán G
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN GENERADOR DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR”

Fecha de Examinación: 2014-02-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Jácome d. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Geovanny Novillo A. ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán G
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO
ROBAYO

JUAN RAFAEL ARCOS

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por darme las fuerzas para seguir adelante sin desmayar, a mis queridos padres: Flavio y Maricela que me supieron apoyar, aconsejar y dar la mejor herencia; la educación.

A mi hermano: David con quien crecí, y recibí apoyo incondicional y leal.

A mis amigos con quienes compartí mi vida estudiantil y una verdadera amistad.

Juan Arcos Robayo

A Dios principalmente por la sabiduría y saberme guiar en transcurso de la carrera, a mis padres Cesar y Silvia por el apoyo incondicional en todos los aspectos, a mis hermanos Iván, Santiago y Esteban por su apoyo moral y leal en momentos difíciles y a mis amigos ya que fueron una influencia a lo largo de este camino.

Diego Punina Guerrero

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Agradecemos cordialmente a la Industria Acero de los Andes por el conocimiento y el apoyo brindado especialmente al Ing. Miguel Cedeño y al Departamento de Gerencia Técnica así como a todas las personas que de alguna u otra manera nos brindaron su más desinteresada ayuda para la culminación de este proyecto.

A todos nuestros amigos y compañeros que no brindaron toda su ayuda durante nuestra permanencia en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Juan y Diego

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación técnica- económica	1
1.3 Objetivos.	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Calderos	3
2.2 Formas de transferencia de calor en la caldera	6
2.3 Combustión	7
2.4 Partes de un caldero pirotubular vertical.....	13
2.5 Procesos de soldadura	16
2.6 Ensayos no destructivos para soldadura	24
3. DISEÑO DEL GENERADOR DE VAPOR	
3.1 Diseño térmico.....	28
3.1.1 Parámetros de diseño.....	28
3.2 Diseño mecánico.	47
3.3 Sistema de control y accesorios	60
4. CONSTRUCCIÓN	
4.1 Tecnología de construcción	66
4.2 Selección de materiales.....	67
4.3 Pruebas realizadas al equipo.....	74
4.4 Procedimiento de pintura.....	76
4.5 Aislamiento del caldero.....	77
4.6 Instalación de instrumentos	78
4.7 Pruebas de funcionamiento	79
5. INSTALACIÓN, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO	
5.1 Instalación	80
5.2 Pruebas de funcionamiento	81
5.3 Mantenimiento	83
5.3.1 Overhaul.....	85
5.4 FAQ.....	86
6. ANÁLISIS FINANCIERO	
6.1 Costos directos.....	87
6.2 Costos indirectos	89
6.3 Costos totales.....	89

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	91
7.2	Recomendaciones.....	91

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Ventajas y desventajas de calderos	5
2 Clasificación de combustibles industriales.....	9
3 Datos de laboratorio	28
4 Niveles recomendados de parámetros de combustión	34
5 Ecuaciones poderes caloríficos	36
7 Valores de C y m.....	43
8 Designación de materiales para las diversas partes del caldero.....	47
9 Lista de chequeo	81
10 Problema, causa, posible solución	83
11 Registro de mantenimiento.....	84
12 Costos directos mano de obra	87
13 Costos directos de materiales	88
14 Costos directos de transporte.....	88
15 Costos directos totales	89
16 Costos indirectos.....	89
17 Costos totales.....	90

LISTA DE FIGURA

	Pág.
1 Caldero	3
2 Caldero acutubular	4
3 Caldero pirotubular	5
4 Reacción de la combustión.....	7
5 Proceso de combustión	8
6 Características de fuel oíl	11
7 Caldero pirotubular vertical.....	13
8 Cámara de combustión	14
9 Espejos	15
10 Tapas de registro	15
11 Chimenea.....	16
12 Soldadura GMAW	17
13 Soldadura FCAW	19
14 Soldadura GTAW	20
15 Soldadura SAW.....	21
16 Soldadura SMAW.....	22
17 Clasificación AWS A5.1 para electrodos.....	22
18 Tipos de uniones	23
19 Posiciones de soldadura	23
20 Tintas penetrantes.....	25
21 Radiografiado.....	26
22 Prueba hidrostática.....	27
23 Valores de entalpias de los productos y reactantes de la combustión	35
24 Referencias de temperaturas de salida de los gases.....	37
25 Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica	38
26 Composición química del acero A516	48
27 Propiedades mecánicas del acero A516.....	48
28 Composición química del acero A192	48
29 Propiedades mecánicas del acero A192.....	49
30 Composición química del acero A36	49
31 Propiedades mecánicas del acero A36.....	50
32 Composición química acero A105	50
33 Propiedades mecánicas acero A105	51

34	Composición química del acero 106	51
35	Propiedades mecánicas acero A106	52
36	Soldadura de cuerpo	57
37	Soldadura espejo superior.....	58
38	Soldadura del espejo inferior	58
39	Soldadura de tubos de humo.....	59
40	Soldadura de soportes	59
41	Soldadura de las bocas	60
42	Válvula de seguridad	61
43	Controlador de nivel	62
44	Controlador de presión	62
45	Manómetro	63
46	Termómetro.....	63
47	Quemador	64
48	Tecnología de construcción.....	66
49	Trazado, corte y rolado del casco (Shell).....	67
50	Unión del casco y hogar	67
51	Instalación de couplings	68
52	Bombeado de la cabeza F&D.....	68
53	Trazado, corte y formado de las bridas.....	69
54	Perforación de las bridas.....	69
55	Soportes del caldero (Legs).....	70
56	Trazado, corte y unión del handhole.....	70
57	Orejas de izaje	71
58	Espejos	71
59	Tubos de fuego	72
60	Acabado de tubos de fuego.....	73
61	Chimenea.....	73
62	Orden de ensamble	74
63	Prueba radiográfica	75
64	Ensayo de tintas penetrantes	76
65	Prueba hidrostática.....	76
66	Caldero pintado con primera capa.....	77
67	Aislamiento.....	78
68	Instalación de los equipos	78
69	Instalación de los equipos	79

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers)
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
MAWP	Máxima Presión de Trabajo Permisible
FCAW	La Soldadura por Arco con Núcleo de Fundente (Flux-Cored Arc Welding)
SMAW	Soldadura Metálica por Arco con Electrodo Revestido (Shielded metal Arc Welding)
GMAW	Soldadura Metálica por Arco con Gas (Gas Metal Arc Welding)
GTAW	Soldadura con Gas Electrodo de Tungsteno (Gas Tungsten Arc Welding)
CNC	Control Numérico Computarizado
IAA	Industria Acero de los Andes
END	Ensayos No Destructivos

LISTA DE ANEXOS

- A Factor A Fig. G ASME sección II componentes sujetos a Presión externa
- B Factor B Fig. CS2 ASME sección II componentes sujetos a Presión externa
- C Procedimientos de Pintura
- D Data sheets instrumentos
- E Overhaul de mantenimiento

RESUMEN

Se presenta el diseño ,construcción e instalación de un generador de vapor cuyo objetivo fundamental es proporcionar vapor a una presión determinada para el funcionamiento de equipos del laboratorio de Transferencia de Calor que utilizan el vapor como medio de funcionamiento los cuales realizan prácticas con los estudiantes para mejorar sus conocimientos.

En el diseño del equipo se consideraron las condiciones, parámetros, requisitos y recomendaciones, prescritas en el código ASME sección I. Se ha seleccionado el quemador a diésel que proporcionará la flama para la combustión, además la consideración de materiales con los que se construyó el equipo de acuerdo a las recomendaciones del código ASME sección I, adicionalmente se ha elaborado toda la documentación necesaria para la instalación y puesta en marcha del equipo así como también el manual de funcionamiento y mantenimiento que debe realizarse al equipo.

Se ha comprobado en el diseño térmico que los datos proporcionados por los fabricantes se acercan a los valores calculados y que para el diseño con motivo de garantizar la seguridad y la confiabilidad del equipo se ha diseñado en un software y la construcción se la realizó basada en normas internacionales (código ASME sección I) garantizando de esta manera la eficiencia y seguridad del equipo.

Antes de utilizar el equipo, se recomienda leer el manual de operación y manual de mantenimiento para su correcto manejo.

ABSTRACT

The design, building and installation of a steam generator are presented. This work aims to promote steam at pressure determined for performance of heat transfer lab supplies that use steam as a way of operation and which are used by the students for their knowledge practice.

Conditions, parameters, requisites, and recommendations are considered in the design of the equipment, they are prescribed in the code ASME section I. The diesel heating and the material for building the equipment have been chosen in order to produce the flame for combustion taking into consideration the code ASME section I. Necessary documents have also been elaborated in order to install and put in progress the equipment , and the performance and maintenance manual for the equipment have been as well.

Data given by the manufactures were proved by the means of thermal design. They were about the values calculated, a software has been designed to guarantee the security and confidence of the equipment, the construction was performed based on the international norms (code ASME section I) guaranteeing the efficient and equipment security.

Before using the equipment, it is recommended to read the manual of operation and the manual of maintenance for its correct manipulation.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Al considerar al vapor como la principal fuente de energía térmica y la más económica en la mayoría de los procesos industriales a nivel mundial, estaríamos hablando directamente de una máquina generadora de vapor conocida como caldera.

Debido al elevado costo de una máquina generadora de vapor importada, éste se convierte en un obstáculo para la adquisición de la misma, para el laboratorio de Transferencia de Calor, ya que la Facultad de Mecánica no está en la capacidad económica para realizar tal inversión.

En el laboratorio de Transferencia de Calor se cuenta con bancos de pruebas, estos equipos funcionan con vapor de agua el mismo que lo suministra un generador de vapor pequeño, el cual no genera la masa necesaria para el funcionamiento de los mismos.

Bajo esta premisa se ha realizado este proyecto de tesis de diseño y construcción de un caldero que satisfaga las necesidades de vapor para el laboratorio.

1.2 Justificación técnica- económica

El presente proyecto busca abastecer las demandas de vapor que requiere el laboratorio de Transferencia de Calor, mejorando el proceso de generación del mismo de tal manera que permita llevar acabo los ensayos para los cuales está destinado el laboratorio y brinde la posibilidad de implementar más bancos de pruebas que se puedan proyectar en el futuro, permitiendo de esta manera realizar los ensayos de una manera eficiente y eficaz, mejorando así el proceso enseñanza aprendizaje.

El generador de vapor ayudará a una generación mucho mayor de vapor remplazando al sistema instalado actualmente en el laboratorio con lo cual se realizará un correcto

uso de los bancos de pruebas instaladas ya que al momento no se encuentran funcionando a toda su capacidad.

Contribuyendo de esta manera al mejoramiento y renovación de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica y de la Facultad de Mecánica.

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar, construir e instalar un generador de vapor para el laboratorio de Transferencia de Calor.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Analizar el marco teórico de diseño

Diseñar el generador de vapor

Construir el generador de vapor

Instalar el generador de vapor

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

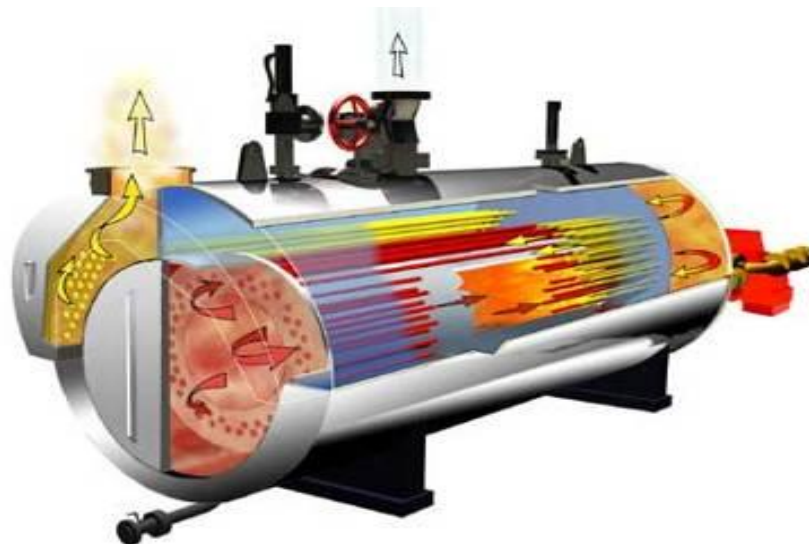
2.1 Calderos

Un caldero de vapor es una máquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química, se transforma en energía térmica.

El caldero consta de diferentes elementos destinados a la producción de vapor de agua de cualquier otra clase de vapor a partir de su fase líquida, estos elementos son el hogar o cámara de combustión, la caldera, los sobre calentadores de vapor, el economizador y el calentador de aire. (MOLINA, 1996)

El término de caldero ha sido por mucho tiempo utilizado. Es común la confusión entre los términos de caldera y generador de vapor, pero la diferencia es que el primero genera vapor sobrecalentado (vapor seco) y el otro genera vapor saturado (vapor húmedo).

Figura 1 Caldero

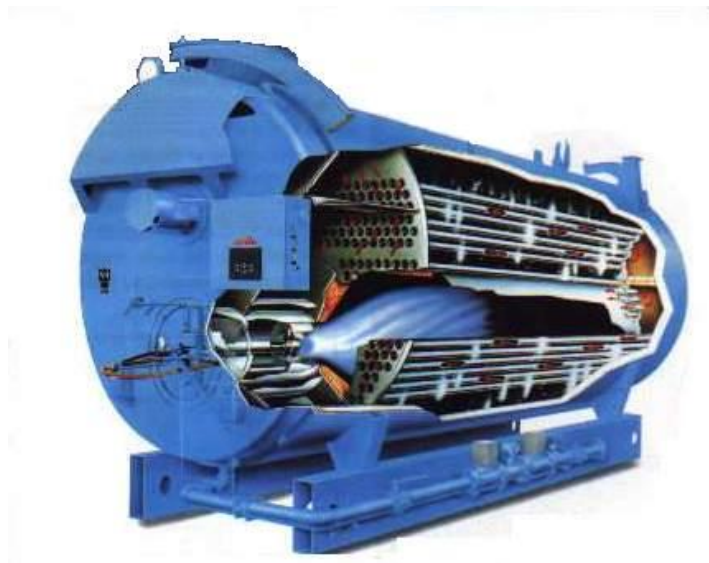


Fuente:<http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT5zjplREpwtl7LWYG5F1t6g4p3FRHubqef8hcCMyvhl0epAuPem>

Tipos de calderos. Aunque existen diferentes diseños de calderos generalmente se les clasifica en dos tipos acutubulares y pirotubulares.

Calderos acutubulares. Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida y tienen gran capacidad de generación. (ROJAS, 2008)

Figura 2 Caldero acutubular



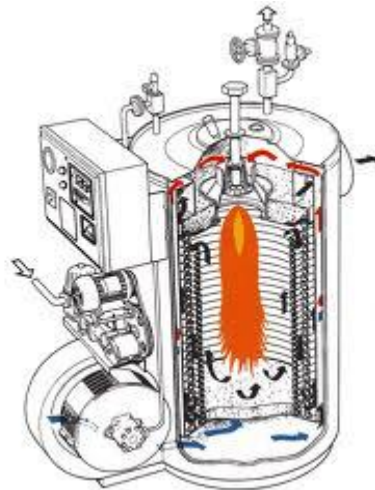
Fuente: <http://deshidratadora.blogspot.com/2011/04/caldera.html>

Calderos pirotubulares. En este tipo de calderos de vapor los gases calientes de la combustión pasan por el interior de los tubos los cuales se encuentran rodeados de agua. Generalmente poseen un hogar integral llamado cámara de combustión, limitado por superficies enfriadas por agua.

Estos calderos son utilizados en pequeñas centrales industriales debido a sus pequeñas capacidades de producción de vapor, presiones limitadas y baja velocidad de producción de vapor. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006)

Una presión de 250 psig y una producción hasta de 25.000 lbs/hora son consideradas los toques prácticos para este tipo de calderas. Sin embargo, en Europa se construyen unidades de hasta 30.000 lbs/hora de producción. Esto las hace recomendables para servicios donde la demanda de vapor sea relativamente pequeña.

Figura 3 Caldero pirotubular



Fuente: www.calderasvaporvalero.com/?page_id=9

Calderos pirotubulares horizontales. En estos calderos los tubos de humo tienen una disposición horizontal, este tipo de calderos son los más utilizados actualmente en las industrias ya que brindan una capacidad de generación de vapor media así como presiones de trabajo medias.

Calderos pirotubulares verticales. En estos calderos los tubos de humo tienen una disposición vertical estos calderos son utilizados en pequeñas industrias y en lugares donde no se cuente con mucho espacio y las necesidades de vapor no sean grandes.

Ventajas y desventajas de los calderos pirotubulares verticales.

Tabla 1 Ventajas y desventajas de calderos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tiene una producción de vapor regular Construcción rápida Fácil mantenimiento Costo relativamente bajo Ocupa una área reducida para su instalación	Transferencia de calor regular por ser de un solo paso Cámara de combustión pequeña Cámara de vapor relativamente pequeña

Fuente: Diseño y construcción de una caldera pirotubular horizontal de tres pasos 50

BHP Por: Francisco Xavier Cajamarca corral-ESPE

2.2 Formas de transferencia de calor en la caldera

La transferencia de la energía térmica desde la cámara de combustión donde se quema el combustible, al agua que se encuentra en la caldera se puede dar por tres métodos radiación, conducción y convección. Las calderas están diseñadas para utilizar eficientemente los tres métodos de transferencia de calor.

Radiación. La radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura. La transferencia de calor se realiza mediante ondas que liberan los cuerpos al estar a temperatura diferente de 0 ° K. (Wikipedia, 2009)

Este tipo de transferencia de calor se da en la cámara de combustión de la caldera donde la llama radiante de la combustión libera ondas q transfieren el calor a la superficie de calefacción de la caldera.

Convección. La convección es el fenómeno de transferencia de calor que se da por los movimientos atómicos, moleculares y por la formación de corrientes convectivas que se genera por diferencia de temperaturas entre un sólido y un fluido.

Este tipo de transferencia de calor se da en la cámara de combustión pero principalmente en los tubos de fuego de las calderas pirotubulares así como en el lado húmedo de la caldera al transferir el calor al agua dentro de la caldera.

Conducción. Es la transferencia de energía o calor a nivel atómico y molecular, generalmente por medio de choques electrónicos.

Los átomos están juntos en estado sólido no pueden moverse pero tienen un movimiento vibracional y dependiendo de su magnitud, generan choques por lo que hay transferencia de energía de los átomos superiores energéticamente a los átomos inferiores energéticamente. Este tipo de transferencia de calor se da principalmente en cuerpos sólidos ya que en los fluidos es un tanto despreciable. (RUIZ, 2010)

Este tipo de transferencia de calor se da en las partes que constituyen la superficie de calefacción de una caldera ya que transfieren el calor del lado de fuego al lado húmedo de la misma.

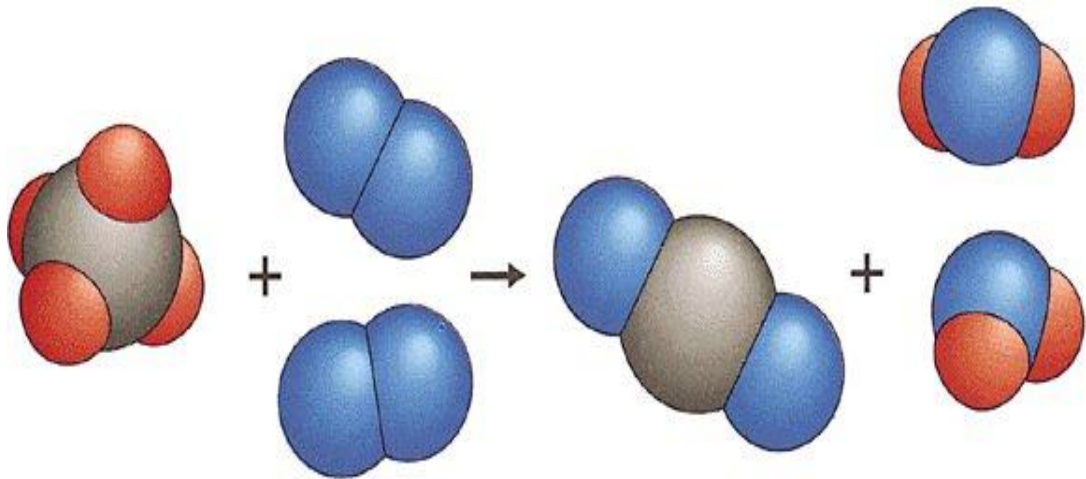
2.3 Combustión

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible.

La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual. (DANILIN, 1999)

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO₂ y H₂O. Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible sólo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

Figura 4 Reacción de la combustión



Fuente: <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/1-cdquimica-tic/flashq/1-reacciones%20q/reaccionescombustion/teoriacomburniondehidrocarburos-2.htm>

Elementos de la combustión. Los elementos necesarios para que se realice la combustión son el comburente y el combustible.

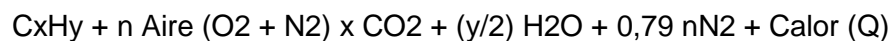
Se denomina comburente al medio de reacción que permite que ocurra una combustión. En nuestro planeta, el comburente natural es el oxígeno (O₂). Se define combustible a toda sustancia capaz de arder. (ATtribution NON-COMMERCIAL, 2010)

Figura 5 Proceso de combustión



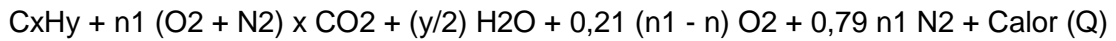
Fuente: http://absacom.blogspot.com/2012_06_01_archive.html

Combustión estequiométrica o teórica. Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos, debido a que éste se ha empleado íntegramente en la reacción.



Combustión con exceso de aire. Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de aire, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión. (Textos Científicos, 2006)

La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de aire es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.



Combustibles. Llamamos combustible a toda sustancia natural o artificial, en estado sólido, líquido o gaseoso que, combinada con el oxígeno produzca una reacción con desprendimiento de calor.

Todos los combustibles industriales se caracterizan por estar constituidos por mezclas o combinaciones de pocos elementos. La mayor proporción (en peso) corresponde a Carbono, Hidrógeno y en muchos casos algo de Azufre, elementos cuyas reacciones de combustión son exotérmicas. (GARCIA, 2001)

Dependiendo de la fase en que se presenten: combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se los puede clasificar de la siguiente manera.

Tabla 2 Clasificación de combustibles industriales

CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES		
Sólidos	Naturales	Maderas y residuos vegetales
		Turbas
		Lignitos
		Hullas
		Antracita
	Artificiales	Coques (carbón y petróleo)
		Aglomerados y briquetas
		Carbón vegetal
Líquidos	Alcoholes	Naturales
		Artificiales
	Residuales	Lejías negras
	Derivados del Petróleo	Gasóleos
		Fuelóleos
Gaseosos	Residuales	Fuel-Gas
	Gas natural	Diferentes familias
	Gases Licuados del Petróleo (GLP)	Propanos y butanos
	Artificiales	Gas de alto horno
		Gas de coque
		Gas pobre
		Gas de agua
		Gas de ciudad
Biogás		

Fuente: Sistema de combustible-UTN FRSF Tecnología del calor.

2.3.1 *Propiedades de los combustibles.* Las propiedades más características de los combustibles son:

Composición. La composición de un combustible es muy importante para poder determinar los parámetros característicos estequiométricos de la reacción de combustión y conocer si en el existen sustancias que puedan tener importancia posterior en cuanto a la contaminación o nocividad de los productos de reacción.

Poder calorífico. Se define como poder calorífico de un combustible, a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. (GARCIA, 2001)

Poder calorífico inferior. Es la cantidad de calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor.

En este caso una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua, por tanto esta parte del calor no se aprovecha. (GARCIA, 2001)

Poder calorífico superior. En los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida, por lo que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible.

Viscosidad. La viscosidad tiene gran importancia en los combustibles líquidos a efectos de su almacenamiento y transporte. Su determinación es experimental y los valores típicos se encuentran tabulados para los distintos combustibles industriales líquidos.

Densidad. Generalmente se determina experimentalmente y para el caso de los combustibles gaseosos se utiliza la densidad relativa al aire. En la práctica es muy importante conocer este parámetro para saber si el gas combustible se acumula en el techo o en el suelo, en caso de una fuga en un local cerrado. (GARCIA, 2001)

Límite de inflamabilidad. Esta propiedad es característica a los combustibles gaseosos y establece la proporción de gas y aire necesaria para que se produzca la combustión, indicando un límite superior y uno inferior.

Punto de inflamación. Para que una reacción de combustión se produzca, la mezcla de combustible y comburente debe alcanzar una temperatura mínima necesaria, que recibe el nombre de punto de inflamación.

El punto de inflamación depende del comburente, por lo que su valor no es el mismo si se utiliza oxígeno o aire. (GARCIA, 2001)

Fuel oíl #2. El fuel oíl #2 o mejor conocido como diésel a nivel nacional es uno de los combustibles más utilizados en la industria por su bajo costo y gran disponibilidad a continuación se presenta un cuadro con las propiedades de este combustible.

Figura 6 Características de fuel oíl

CUADRO RESUMEN CARACTERISTICAS DE FUEL OIL			
COMBUSTIBLE	FUEL OIL BIA	FUEL OIL 1	FUEL OIL 2
UNIDAD	kg	kg	kg
DENSIDAD	960 kg/m ³	960 kg/m ³	980 kg/m ³
PCI (PODER CALORÍFICO INFERIOR)	9.588 kcal/kg	9.465 kcal/kg	9.271 kcal/kg
	11.15 kWh/kg	11.01 kWh/kg	10.78 kWh/kg
PCS (PODER CALORÍFICO SUPERIOR)	10.116 kcal/kg	9.985 kcal/kg	9.767 kcal/kg
	11.76 kWh/kg	11.61 kWh/kg	11.36 kWh/kg
PCI/PCS	0.948	0.948	0.949
PODER COMBURIVORO	10,29 Nm ³ /kg	10,18 Nm ³ /kg	9,99 Nm ³ /kg
	0,92 Nm ³ /kWhPCI	0,92 Nm ³ /kWhPCI	0,93 Nm ³ /kWhPCI
PODER FUMIGENO SECO	9,75 Nm ³ /kg	9,64 Nm ³ /kg	9,49 Nm ³ /kg
	0,87 Nm ³ /kWhPCI	0,88 Nm ³ /kWhPCI	0,88 Nm ³ /kWhPCI
PODER FUMIGENO HUMEDO	10,87 Nm ³ /kg	10,74 Nm ³ /kg	10,54 Nm ³ /kg
	0,97 Nm ³ /kWhPCI	0,98 Nm ³ /kWhPCI	0,98 Nm ³ /kWhPCI
PFS/PC	0.947	0.948	0.950
CO ₂ PRODUCIDO EN COMBUSTIÓN	3,15 kg/kg	3,10 kg/kg	3,07 kg/kg
	283 gr/kWhPCI	282 gr/kWhPCI	284 gr/kWhPCI
H ₂ O PRODUCIDO EN COMBUSTIÓN	1,53 kg/kg	1,50 kg/kg	2,00 kg/kg
	137 gr/kWhPCI	136 gr/kWhPCI	185 gr/kWhPCI
CO ₂ máximo (%)	16,47%	16,37%	16,46%
CONTENIDO AZUFRE	<1 %	<2,7 %	<3,5 %

Fuente: Sistema de combustible-UTN FRSF Tecnología del calor pag 1.

Temperatura de llama adiabática. Es la temperatura alcanzada cuando se quema un combustible en aire u oxígeno sin ganancia o pérdida de calor se denomina temperatura teórica de la llama. Se considera el supuesto de que no se realiza ningún

trabajo mecánico y que los únicos términos de energía que intervienen son la energía interna y el trabajo de flujo. (RAGATZ, 1982)

Debe conocerse la composición verdadera de los productos, incluida la presencia de reactivos que han reaccionado, radicales libres y átomos libres, y el método no se puede aplicar a la primera fracción de segundo requerida para alcanzar los valores de equilibrio de las capacidades caloríficas. La máxima temperatura adiabática de llama se alcanza cuando se quema el combustible con la cantidad teóricamente necesaria de oxígeno puro.

Eficiencia de la combustión. La eficiencia total de combustión se define como la eficacia de cualquier aparato de combustión para convertir la energía interna contenida en un combustible en energía calórica para ser usada en el proceso. Eficiencia de combustión es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

Antes de realizar grandes inversiones de capital para mejorar el rendimiento de la caldera, se debe maximizar la eficiencia de la combustión y el mejor camino para hacerlo es medir el oxígeno y el combustible no quemado en el gas de combustión en forma continua. (Electroindustrial, 2009)

La importancia del exceso de aire. La pérdida de calor en los gases de combustión es la principal pérdida de energía en un proceso de este tipo y es imposible de eliminar, porque los productos de este proceso son calentados por el proceso mismo. No obstante, puede ser minimizada reduciendo la cantidad de exceso de aire suministrado al quemador.

Ya que el oxígeno en los gases de combustión está directamente relacionado al exceso de aire, un analizador de oxígeno es la mejor manera para controlar la cantidad de exceso de aire y la pérdida de calor asociada. (Electroindustrial, 2009)

Pérdidas por combustible no quemado. Nunca se debe operar un quemador con menos aire que el requerido estequiométricamente para la combustión. No sólo resultaría en una chimenea humeante, sino que reduciría significativamente la energía total liberada en el proceso debido al combustible no quemado.

Si un quemador es operado con una deficiencia de aire, no se quemará todo el combustible y la cantidad de combustibles (CO y H₂) en los gases de combustión se incrementa. (Electroindustrial, 2009)

2.4 Partes de un caldero pirotubular vertical

Las calderas pirotubulares verticales son utilizadas cuando la demanda de vapor no es grande y el espacio que se dispone para la instalación de la caldera es reducido.

Las calderas pirotubulares están constituidas principalmente por las siguientes partes:

El cuerpo o casco. El cuerpo de la caldera está constituido por una plancha rolada y en su interior se encuentran todas las partes constitutivas de la caldera como la cámara de combustión, los tubos de fuego y es el lugar donde se realiza la evaporización del agua.

Figura 7 Caldero pirotubular vertical



Fuente: <http://www.calleri-srl.com.ar/caldera.htm>

La cámara de combustión. El hogar constituye la parte de la caldera donde se realiza la combustión y se libera el calor radiante de la llama hacia las paredes del hogar que este a su vez transfiere el calor al agua que se encuentra en su exterior.

Figura 8 Cámara de combustión



Fuente: <http://pirobloc.blogspot.com/2009/11/que-es-una-caldera-de-aceite-termico.html>

Tubos de fuego. Los tubos de fuego es el lugar donde se transfiere el calor de los gases de combustión hacia el agua en su exterior, se encuentran fijados a los espejos mediante expansión o soldadura se encuentran distribuidos mediante arreglos pudiendo ser éstos cuadrados o rectangulares.

Espejos. Son láminas circunferenciales con agujeros donde se encuentran fijados los tubos de fuego.

Figura 9 Espejos



Fuente: [http:// MLM-434270235-fabricacion-de-espejos-para-calderas-_JM](http://MLM-434270235-fabricacion-de-espejos-para-calderas-_JM)

Puertas o tapas de registro. Las puertas de acceso a los tubos son indispensables para el mantenimiento de las calderas, en las calderas de tamaño pequeño éstos son solo accesos de mano (handhole) lo que permite realizar la remoción del hollín que se adhiere a los tubos y evita una transferencia de calor eficiente.

Figura 10 Tapas de registro



Fuente: <http://www.calicalderas.com/serviciosinterno.html>

Chimenea. Es el ducto por donde salen los productos de la combustión y el calor no aprovechado hacia el exterior.

Figura 11 Chimenea



Fuente: <http://www.calcalderas.com/serviciosinterno.html>

2.5 Procesos de soldadura

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos.

Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Para que el metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura es necesario que «moje» a los metales que se van a unir, lo cual se verificará siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido.

Tipos de soldadura. Los procesos de soldadura más comúnmente usados son:

GMAW

FCAW

GTAW

SAW

SMAW

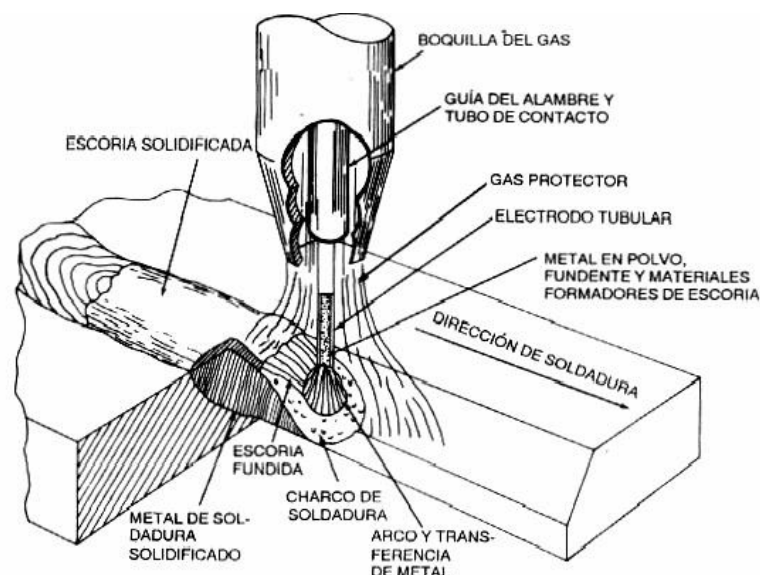
Soldadura GMAW. La soldadura metálica por arco eléctrico con protección gaseosa (Gas Metal Arc Welding - GMAW) es un proceso que produce la unión de los metales por fusión a través de un arco voltaico establecido entre un electrodo metálico continuo (consumible de soldadura) y la pieza.

La protección, tanto del arco como de la piletta de fusión, se consigue a través de un gas o una mezcla de gases. Si este gas es inerte, no reacciona con el metal, (Argón/Helio), el proceso también se llama MIG (Metal Inert Gas). Por otra parte, si el gas es activo, reacciona con el metal, (Dióxido de carbono, "CO2", o las mezclas Argón "Ar", Oxígeno "O2", CO2), el proceso se llama MAG (Metal Active Gas). Los gases inertes puros son utilizados generalmente en la soldadura de aleaciones metálicas no ferrosas (metales aleados cuyo principal constituyente no es el hierro).

Mezclas de gases inertes con cantidades pequeñas de gases activos se utilizan generalmente con aceros aleados (aceros a los que se les añade elementos como cromo, molibdeno o níquel en pequeñas cantidades para mejorar determinada propiedad del mismo), mientras que mezclas más ricas en gases activos ó CO2 puro se utiliza en la soldadura de acero al carbono (lo cual es el caso mayoritario).

El proceso es normalmente operado en forma manual a través de un equipo semi-automático, siendo también utilizado de forma mecanizada o automatizada completa. Constituye el proceso de soldadura por arco eléctrico más utilizado en la industria. (EYHERALDE, 2012)

Figura 12 Soldadura GMAW



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos46/soldadura-por-arco/soldadura-por-arco2.shtml>

Soldadura FCAW. La soldadura por arco con núcleo de fundente (flux cored arc welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.

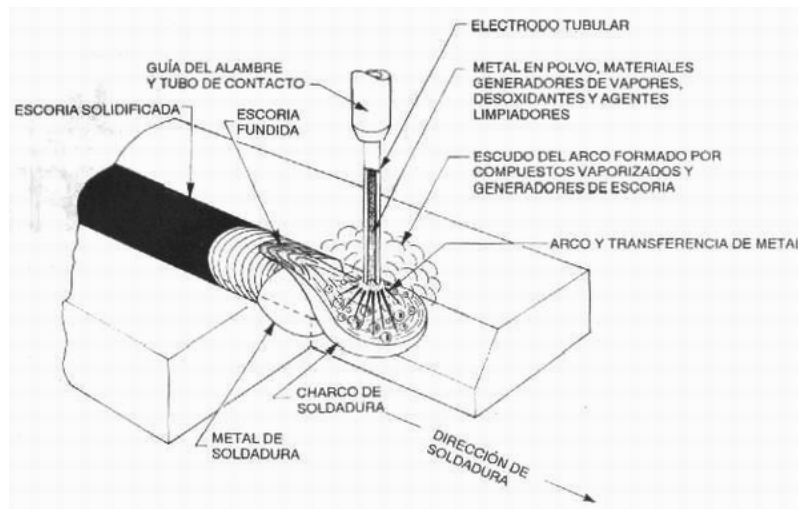
El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua.

Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo.

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación. (HERRERA, 2012)

Figura 13 Soldadura FCAW



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos46/soldadura-por-arco/soldadura-por-arco2.shtml>

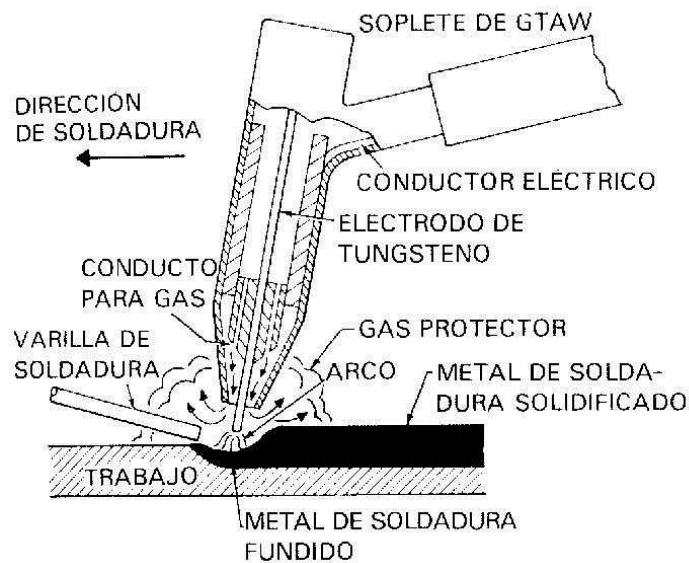
Soldadura GTAW. Es un proceso de soldadura por arco eléctrico en el cual se obtiene la unión de los metales por calentamiento de los mismos, fruto de un arco que se establece entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza. La zona de protección del electrodo y la soldadura se obtiene mediante un gas inerte, generalmente argón o una mezcla de gases inertes (Argón y Helio). El metal de aporte se coloca en el arco eléctrico logrando la fusión del mismo, y la mezcla de éste con el metal base. La piletta líquida se manipula controlando la correcta fusión de las partes; el proceso puede ser usado sin material de aporte.

La soldadura TIG puede ser manual o mecanizada, y se considera uno de los procesos de soldadura por arco que permite un mejor control de las condiciones de operación.

Permite la ejecución de soldaduras de alta calidad y excelente terminación, sobre todo en juntas de pequeño espesor (típicamente en espesores de 0,2 a 3 mm, generalmente menos que 10 mm).

Secciones de mayor espesor pueden ser soldadas, pero en este caso las consideraciones económicas tienden a favorecer los procesos con electrodo consumible. (JIMÉNEZ, 2013)

Figura 14 Soldadura GTAW



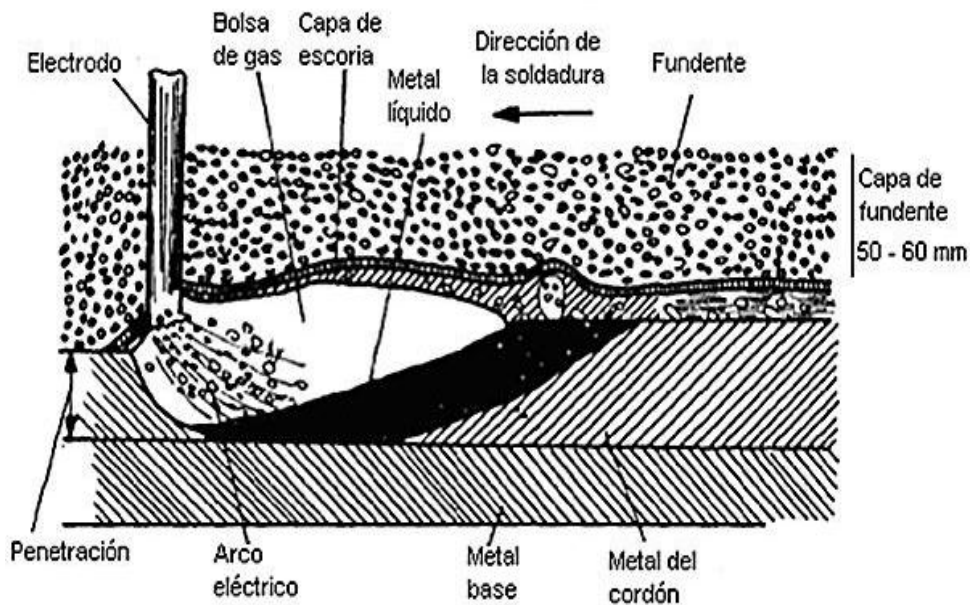
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/equipo-basico-para-soldar-al-arco.html>

Soldadura SAW. En la soldadura por arco sumergido, el arco se establece entre la pieza a soldar y el electrodo, estando ambos cubiertos por una capa de flux granular (de ahí su denominación “arco sumergido”). Por esta razón el arco está oculto.

Algunos fluxes se funden para proporcionar una capa de escoria protectora sobre el baño de soldadura el flux sobrante vuelve a ser de nuevo reutilizado.

El arco sumergido, principalmente se utiliza en instalaciones de soldadura que están totalmente automatizadas, aunque también puede ser utilizado para realizar soldaduras manuales. Para aumentar la productividad es posible introducir técnicas utilizando varios electrodos. Dada su alta tasa de aportación, el procedimiento es apropiado para unir juntas rectas con buena preparación en posición horizontal. Principalmente, se utiliza con profusión en construcción y reparación naval, industrias químicas y estructuras metálicas pesadas. (ESAB, 2014)

Figura 15 Soldadura SAW



Fuente: <http://www.juventudrebelde.cu/multimedia/fotografia/generales/esquema-del-proceso-de-soldadura-saw/>

Soldadura SMAW. En este proceso la unión metálica se da por el calor generado por un arco eléctrico, establecido entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar.

El electrodo revestido constituye el metal de aporte de la soldadura y está formado por un núcleo central metálico conductor de la corriente eléctrica, llamado “alma”, recubierto por una capa no conductora de la corriente llamada “revestimiento”, constituida de polvos aglomerados adheridos al alma metálica.

Las funciones principales del revestimiento son las de proteger el metal fundido del aire que lo rodea, durante la transferencia a través del arco, y terminado el arco durante la solidificación del cordón, y aportar parte de los elementos que se transferirán a la pileta líquida para dar la composición química final de la misma. (EYHERALDE, 2012)

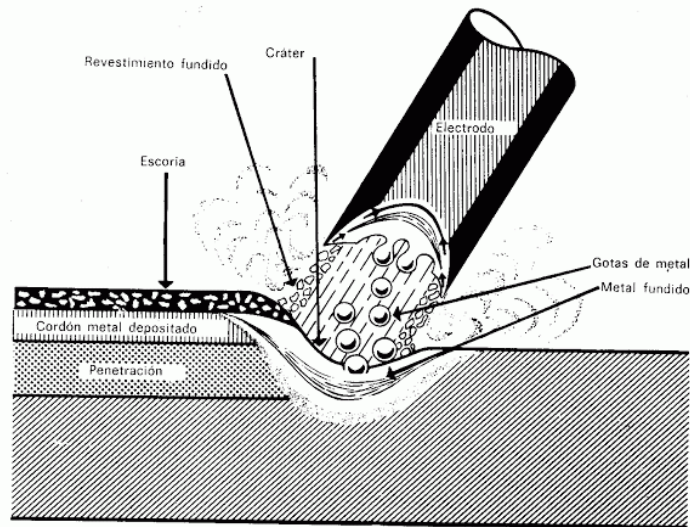
Ventajas

Índices de deposición elevado (más 45 kg/h).

Buena penetración de la soldadura.

Se realizan fácilmente soldaduras robustas (con un buen proceso de diseño y control)

Soldaduras de alta velocidad en chapas finas de acero de hasta 5 m/min.
 Figura 16 Soldadura SMAW

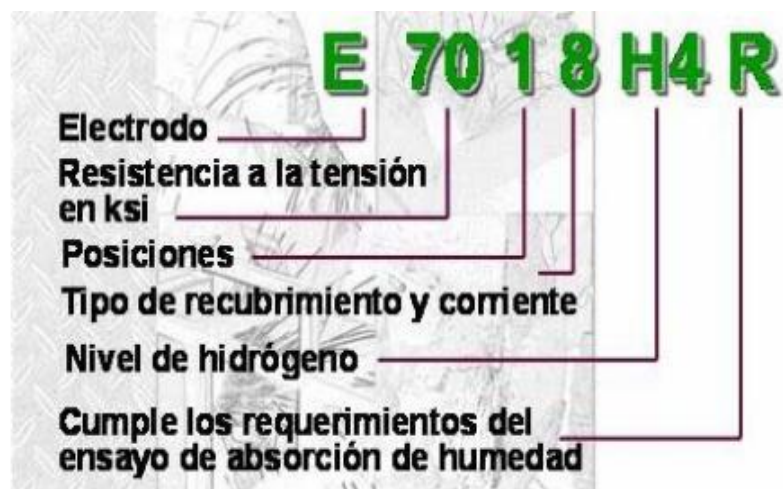


Fuente: <http://mecanizadobasico.blogspot.com/2013/05/soldadura-blanda-y-soldadura-en-general.html>

Electrodo. Para poder realizar este proceso de soldadura al arco con electrodo recubierto, se dispone de una gran diversidad de tipos de electrodos, cada uno de ellos se selecciona en base al material de que está constituido su núcleo, así como por su tipo de recubrimiento y además por el diámetro del electrodo. La AWS. (American Welding Society) ha normalizado su diseño y utilización. (FLORES, 2009)

Para efectos de identificación se utiliza las siguientes siglas.




Figura 17 Clasificación AWS A5.1 para electrodos



Fuente: <http://www.itw-welding-spain.com>

Tipos de uniones soldadas. Los diferentes tipos de uniones son los siguientes:


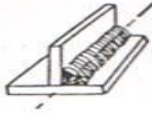

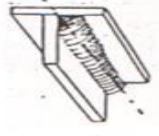


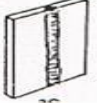

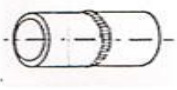

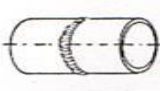

Figura 18 Tipos de uniones

 TOPE SIN BISEL	 TOPE CON BISEL	 TOPE CON DOBLE BISEL	 TOPE CON UNA PLANCHA BISELADA	 TOPE CON UNA PLANCHA DOBLE BISEL
 TOPE BISEL EN U	 TOPE DOBLE BISEL EN U	 TOPE BISEL EN J EN UNA PLANCHA	 TOPE DOBLE BISEL J EN UNA PLANCHA	 FILETE SIMPLE
 FILETE SIMPLE	 DOBLE FILETE	 DOBLE FILETE	 UNION V DE LADOS DOBLADOS	 UNION DE FLANGE
 CORDON	 TAPON	 PUNTO DE ARCO SENCILLO		

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>

Los electrodos están diseñados para ser usados en posiciones específicas. Siempre que sea posible hay que llevar la pieza a una posición plana, que es la más cómoda y con mayor rendimiento.

Figura 19 Posiciones de soldadura

PLANO	HORIZONTAL	VERTICAL	SOBRECABEZA
			
			
			

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>

2.6 Ensayos no destructivos para soldadura

Los ensayos no destructivos, conocidos de forma general por las siglas END, son un campo de la ingeniería que se ha desarrollado rápidamente. Las técnicas que eran relativamente desconocidas hace algunos años se han convertido en una herramienta indispensable en las industrias actuales.

Las pruebas no destructivas como su nombre lo indica no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. Por ello no inutilizan las piezas que son sometidas a los ensayos. (SISTENDCA, 2012)

De acuerdo con su aplicación los ensayos no destructivos se dividen en:

Técnicas de inspección superficial.

Técnicas de inspección volumétrica.

Técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad.

Técnicas de inspección superficial. Mediante éstas se comprueba solo la integridad superficial de un material. Por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que están en la superficie, pudiendo estar abiertas a ésta o a una profundidad no mayor de 3 mm. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos no destructivos:

Inspección visual

Líquidos penetrantes

Partículas magnéticas

Electromagnetismo

Técnicas de inspección volumétrica. Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza. Este tipo de inspección se los realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

Radiografía industrial

Ultrasonido industrial

Radiografiado neutrónica

Emisión acústica

Técnicas de inspección de la hermeticidad. Son aquellas en las que se comprueba la capacidad de un componente o de un recipiente para contener un fluido a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica, sin que existan pérdidas apreciables de presión o de volumen del fluido de prueba.

Pruebas por cambio de presión

Hidrostática

Neumática

Pruebas por pérdidas de fluido

Cámara de burbujas

Detector de halógeno

Espectrómetro de masas

Detector ultrasónico

Se analizara los ensayos llevados a cabo en nuestro proyecto.

Líquidos penetrantes. La inspección por Líquidos Penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados. En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidad y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta. (SISTENDCA, 2012)

Figura 20 Tintas penetrantes



Fuente:https://www.cetitreinamientos.com/z1img/10_12_2011__11_44_437423546884d1364140151cc2388efbdc743b6_600x600.jpg

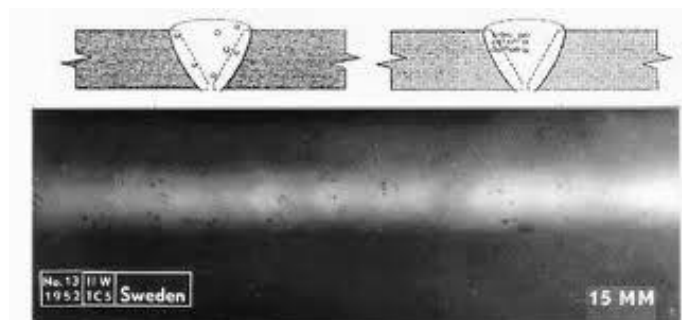
Radiografía industrial. La Inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía.

Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos x o Gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video. (SISTENDCA, 2012)

Figura 21 Radiografiado



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/11/soldadura1.jpg>

Prueba hidrostática. La prueba hidrostática es una prueba no destructiva mediante la cual se verifica la integridad física de una tubería o sistema en donde el agua es bombeada a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión por un tiempo establecido previamente el cual varía según lo determine el inspector que realiza la prueba. (SISTENDCA, 2012)

Figura 22 Prueba hidrostática



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/11/soldadura1.jpg>

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL GENERADOR DE VAPOR

3.1 Diseño térmico

3.1.1 *Parámetros de diseño.* El proyecto se enfoca en el desarrollo de un modelo que cumpla los siguientes parámetros los cuales son: los valores de flujo de la caldera, la distribución de la temperatura de los gases de combustión, eficiencia de operación de la caldera y temperatura de salida de los gases de combustión, capacidad y presión de operación de la caldera pirotubular de 5 BHP que debe generar vapor a una presión de 60 psig utilizando un quemador de diésel.

Estos datos se basan en los datos de requerimientos del laboratorio que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 3 Datos de laboratorio

Intercambiador	Presión de trabajo(psig)	Masa de vapor (kg/s)	Masa de vapor (kg/h)
Camisa y serpentín	50.5	0.0175	63
Carcas y tubos	15	1.75E-04	0.63036
Doble tubo	28	0.01132	40.752
Placas	20.5	0.018	64.8
Flujo cruzado	22	3.36E-03	12.096
TOTAL	50.5		181.27836

Fuente: Autores

Con estos datos tenemos los siguientes parámetros:

Potencia: 5BHP

Presión de funcionamiento: 60psig

Presión atmosférica en Riobamba: 10,5psi

Poder calorífico inferior del diésel: 18069,5 Btu/lb

Temperatura ambiente: 20 °C (68°F)

Temperatura de vapor a 70,77psia: 150,89668 °C

Con esta potencia calcularemos la masa de vapor que se generará en el caldero:

$$\dot{m}v = \frac{P}{h - h_f} \quad (1)$$

Donde:

P: Potencia de la caldera o calor generado Btu/h

Mv: Flujo másico de vapor producido por la caldera lb

h: Entalpia del vapor en condiciones de salida Btu/lb

hf: Entalpía del agua en condiciones de entrada Btu/lb

Entonces:

P = 5 BHP (167470 Btu/h)

h = 1180,8 Btu/lb. (Vapor saturado y húmedo a 70,7 psia)

hf = 36,23 Btu/lb. (Líquido comprimido a 70,7 psia y 68°F)

$$\dot{m}v = \frac{167470 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{1180,8 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} - 36,23 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}}$$

$$\dot{m}v = 146,31 \text{ lb/h} \quad (66,36 \text{ kg/h})$$

Se procedió a calcular el volumen másico del agua:

$$V\dot{H}_2O = \frac{\dot{m}v}{\rho_{H_2O}} \quad (2)$$

Donde:

$V\dot{H}_2O$: Caudal de agua en m³/h

$\dot{m}v$: Flujo másico de vapor en kg/h

ρ_{H_2O} : Densidad de agua en kg/m³

Entonces:

$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$

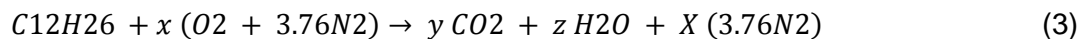
$$V\dot{H}_2O = \frac{66,36 \text{ Kg/h}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V\dot{H}_2O = 0,066 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.1.2 *Análisis del combustible.* Para modelar químicamente la reacción de combustión, los combustibles se simplifican como si fuesen un solo hidrocarburo, aunque en la realidad estos son mezclas complejas de hidrocarburos e impurezas, que dependen de la fuente de petróleo crudo y de la refinería.

En la práctica los combustibles hidrocarburos se modelan de la forma C_xH_y . En este caso, el combustible que se utilizará en la caldera es el diésel que tiene como fórmula química $C_{12}H_{26}$.

Con el aire teórico necesario para oxidar todos los elementos la ecuación estequiométrica sería:



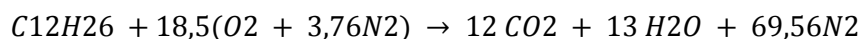
Igualando la reacción química tenemos los siguientes coeficientes:

$$x = 18,5$$

$$y = 12$$

$$z = 13$$

Remplazando tenemos:



Relación Aire – Combustible. La relación aire-combustible (AC) es importante para garantizar una buena combustión, se obtiene por:

$$AC = \frac{m \text{ aire}}{m \text{ comb}} \quad (4)$$

La base molar y volumétrica, el aire seco está compuesto por 20.9 % de oxígeno, 78.1 % de nitrógeno, 0.9 % de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, helio, neón, e hidrógeno. Por lo cual cada mol de oxígeno vendrá acompañada por:

$$\frac{0,79}{0,21} = 3,76 \text{ mol de nitrógeno}$$

Es decir:

$$1\text{ kmol } O_2 + 3,76 \text{ kmol nitrógeno} = 4,76 \text{ kmol aire}$$

La masa del aire (m_{aire}), es igual:

$$m_{\text{aire}} = N_{\text{aire}} \cdot M_{\text{aire}} \quad (5)$$

Donde:

N_{aire} : Número de moles del aire en kmol

M_{aire} : Peso molecular del aire, 29 en kg/kmol

$$m_{\text{aire}} = 18,5 \times 4,76 \text{ kmol} \times 29 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{\text{aire}} = 2553,74 \text{ kg}$$

La masa de combustible (m_{comb}) se determina por:

$$m_{\text{comb}} = N_c \cdot M_c + N_h \cdot M_h \quad (6)$$

Donde:

N_c : Número de moles del carbono en kmol

M_c : Peso molecular del carbono, 12 kg/kmol

N_h : Número de moles del hidrógeno en kmol

M_h : Peso molecular del hidrógeno, 2kg/kmol

$$m_{\text{comb}} = \left(12 \text{ kmol} \times \frac{12 \text{ kg}}{\text{kmol}}\right) + \left(13 \text{ kmol} \times \frac{2 \text{ kg}}{\text{kmol}}\right)$$

$$m_{\text{comb}} = 170 \text{ kg}$$

La relación de combustible será:

$$AC = \frac{2553,74 \text{ kg de aire}}{170 \text{ kg de comb}} = 15,022 \frac{\text{kg de aire}}{\text{kg de comb}}$$

Flujo másico de aire y combustible. Para determinar el flujo másico de combustible, se debe aplicar la siguiente relación:

$$m_{comb} = \frac{\dot{Q}}{\eta \times PC_{diesel}} \quad (7)$$

Donde:

\dot{Q} : Calor suministrado es 167470 Btu/h

η : Eficiencia de la caldera es aproximadamente 70 %.

PC_{diesel} : Poder calorífico del diesel es 18069,5 Btu/lb

$$m_{comb} = \frac{167470 \text{ Btu/h}}{0,7 \times 18069,5 \text{ Btu/lb}}$$

$$m_{comb} = 13,24 \text{ lb/h}$$

Una vez obtenido la masa del combustible se procedió a calcular el volumen másico del diésel.

$$\dot{V}_{diesel} = \frac{\dot{m}_{comb}}{\delta_{diesel}} \quad (8)$$

Donde:

\dot{m}_{comb} : Flujo másico del combustible en lb/h

\dot{V}_{diesel} : Caudal de combustible en ft³/h

δ_{diesel} : Densidad del diesel es 50,25lb/ft³

$$\dot{V}_{diesel} = \frac{13,24 \text{ lb/h}}{50,25 \text{ lb/ft}^3}$$

$$\dot{V}_{diesel} = \frac{0,2634 \text{ ft}^3}{h}$$

$$\dot{V}_{diesel} = 1,97 \text{ GPH}$$

El flujo másico de aire será:

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad (9)$$

Donde:

m_{aire} : Flujo másico de aire en lb/h

AC: Relación aire combustible

$$\dot{m}_{aire} = 15,02 \times 13,24 \text{ lb/h}$$

$$\dot{m}_{aire} = 199 \text{ lb/h}$$

Temperatura de flama adiabática y flujo de gases. La temperatura de flama adiabática es la temperatura máxima que alcanza la flama al reaccionar el combustible con el comburente, siempre y cuando allí no exista transferencia de calor hacia los alrededores y la combustión sea completa ($Q_{sis} = 0$).

Para poder determinar esta temperatura se considera un proceso de combustión de flujo permanente y en condiciones normales (temperatura del ambiente 25°C).

En el proceso de combustión se debe utilizar la ecuación de conservación de la entalpía.

$$H_{prod} = H_{reac} \quad (10)$$

Donde:

H_{prod} : Entalpía de productos Btu/lb

H_{reac} : Entalpía de reactivos Btu/lb

$$\sum N_p(h_f + h - h^o)_p = \sum N_R(h_f + h - h^o)_R \quad (11)$$

Donde:

H_{prod} : Entalpía de productos Btu/lb

H_{reac} : Entalpía de reactivos Btu/lb

Ecuación de la combustión. La combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados. Es típica la presencia de O_2 en los humos. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la

eficiencia y la longitud de llama. Para la caldera el exceso de aire se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 Niveles recomendados de parámetros de combustión

Parámetros	Combustibles		
	Diésel 2	Residual 6	Residual 500
Exceso de aire (%)	15-20	20-25	25-30
Temperatura de atomización			
Atomización mecánica	--	100-120	115-130
Atomización de vapor	--	80-90	95-105
Concentración de gases (máximo)			
Oxígeno O2 (%)	3.5	4	4.5
Monóxido de carbono CO	200	400	500
Opacidad máxima	2	3	4

Fuente: Resultados de la evaluación mantenimiento y ajustes en la combustión en 50 calderas industriales -1er congreso internacional de mantenimiento

La combustión se dará con un 20 % de exceso de aire. La ecuación será:

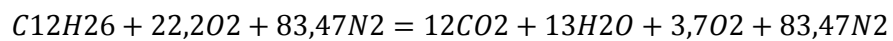


Figura 23 Valores de entalpias de los productos y reactantes de la combustión

Sustancia	\bar{h}_f° KJ/kmol	\bar{h}_{298}° KJ/kmol
$C_{12}H_{26}$	-291010	-----
O_2	0	8682
N_2	0	8669
CO_2	-393520	9364
H_2O	-241820	9904

Fuente: Datos de JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\sum N_p(h_f + h - h^\circ)_p = \sum N_R(h_f + h - h^\circ)_R \quad (12)$$

Se tiene:

$$\frac{-291010 \text{ kJ}}{\text{kmol}} = \frac{12((-393520 + h_{CO_2} - 9364) + 13(-241820 + h_{H_2O} - 9904) + 3,7(0 + h_{O_2} - 8682) + 83,47(0 + h_{N_2} - 8669)) \text{ kJ}}{\text{kmol}}$$

$$8571734,83 \text{ kJ} = 12h_{CO_2} + 13h_{H_2O} + 3,7h_{O_2} + 83,47h_{N_2}$$

Para resolver la ecuación se utilizara un método iterativo para encontrar la temperatura de flama adiabática sabiendo que:

$$h = \int_{298}^{T_{ad}} C_p(t) dt \quad (13)$$

Donde:

h : Entalpia Btu/lb

C_p : Poder calorífico Btu.lb/°R

Los valores de los poderes caloríficos en función de la temperatura para los elementos de la combustión se muestran a continuación.

$$(Cp)_{CO_2} = R(5.457 + 1.045 \times 10^{-3}T - 1.157 \times 10^{-5}T^{-2}) \quad (14)$$

$$(Cp)_{H_2O(g)} = R(3.470 + 1.045 \times 10^{-3}T - 0.121 \times 10^{-5}T^{-2}) \quad (15)$$

$$(Cp)_{O_2} = R(3.639 + 0.506 \times 10^{-3}T - 0.227 \times 10^{-5}T^{-2}) \quad (16)$$

$$(Cp)_{N_2} = R(3.280 + 0.593 \times 10^{-3}T + 0.040 \times 10^{-5}T^{-2}) \quad (17)$$

Integrando estas ecuaciones y utilizando un método de iteración se tiene los siguientes valores:

Tabla 5 Ecuaciones poderes caloríficos

T(K)	hCO2(kj)	hH2O(kj)	hN2(kj)	hO2(kj)	TOTAL(kj)
2100	96401,19	71508,19	57129,87	61352,66027	8104879,64
2110	97008,96	72014,86	57491,78	61731,24661	8156811,32
2120	97617,64	72522,73	57854,18	62110,25367	8208820,46
2130	98227,22	73031,81	58217,08	62489,68144	8260907,08
2140	98837,70	73542,09	58580,46	62869,52992	8313071,16
2150	99449,08	74053,57	58944,34	63249,79912	8365312,69
2160	100061,36	74566,25	59308,71	63630,48902	8417631,69
2170	100674,54	75080,14	59673,57	64011,59964	8470028,13
2180	101288,61	75595,23	60038,93	64393,13098	8522502,02
2190	101903,59	76111,52	60404,77	64775,08302	8575053,36
2200	102519,46	76629,01	60771,11	65157,45578	8627682,14
2210	103136,23	77147,71	61137,94	65540,24924	8680388,36

Fuente: Autores

Los valores se encuentra entre la temperatura de 2180°K y 2190°K interpolando tenemos el valor de:

$$T_{ad} = 2189,36^{\circ}\text{K}$$

Este valor es ideal la temperatura real de combustión se considera en un 65% al 80% de la temperatura adiabática, dependiendo del diseño de la cámara de combustión para nuestro caso tomaremos el valor de 70%.

$$T_{real} = 1532,55^{\circ}\text{K}(1259,55^{\circ}\text{C})$$

Figura 24 Referencias de temperaturas de salida de los gases

Presión de vapor de caldera <i>Kg/cm²</i>	Temperatura máxima permitida en calderas pirotubulares °C
1.05	204
1.75	231
3.50	243
5.25	253
7.00	204
8.75	262
10.50	269

Fuente: KOHAN Anthony L., MANUAL DE CALDERA, Cuarta Edición; pag.55

La presión de la caldera 60 psi (4,21kg/cm²) con lo cual interpolando se tiene la temperatura de 247 °C. Este valor es ideal ya que al tomar un valor tan bajo de los gases de salida de combustión se da una gran eficiencia al intercambiador de calor debido al diseño de nuestro caldero ya que los gases de combustión no recorrerán mucho trayecto tomaremos el doble de esta temperatura 494 °C.

Temperatura de entrada de los gases $T_e \text{ gases} = 1259,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de salida de los gases $T_s \text{ gases} = 494 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura promedio de los gases $^\circ\text{C}$

$$T_{bgases} = \frac{T_e \text{ gases} + T_s \text{ gases}}{2} \quad (18)$$

Donde:

T_b : Temperatura promedio $^\circ\text{C}$

T_e : Temperatura de entrada $^\circ\text{C}$

T_s : Temperatura de salida $^\circ\text{C}$

$$T_{bgases} = \frac{1259,55 + 494}{2}$$

$$T_{bgases} = 876,77^\circ\text{C}$$

Por medio de interpolaciones se obtiene, la siguiente tabla

Figura 25 Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/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
Aire							
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	1.7458	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
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728

Fuente: INCROPERA Frank P. Fundamentos de la transferencia de calor, Tabla A-4;

Interpolando el valor de la temperatura de 876,77 $^\circ\text{C}$ se obtiene:

$$C_p = 1115,72 \frac{J}{kg \cdot K}; \quad \delta = 0,396; \quad \mu = 391,68 \times 10^{-7} \text{Kg/ms.}$$

Con la ecuación del calor:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{gases} \cdot C_{pgases} \cdot \Delta T_{gases} \quad (19)$$

Donde:

\dot{Q} : Flujo de calor

m : Masa

ΔT : Diferencia de temperatura

$$\dot{m}_{gases} = \frac{Q}{C_{pgases} \cdot \Delta T_{gases}}$$

$$\dot{m}_{gases} = \frac{49050 \text{ J/s}}{\frac{1155,7 \text{ J}}{\text{kg K}} \cdot (1259,55 - 494) \text{ K}}$$

$$\dot{m}_{gases} = 0,055 \text{ kg/s}$$

En la caldera se utilizaran tubos cédula 40 Acero ASTM-A53Gr B DE 1". Conocido esto se calcula la velocidad de los gases en la caldera.

Velocidad de la corriente libre es:

$$V_i = \frac{m_{gas}}{\rho_{gas} A_i} \quad (20)$$

Donde:

V_i : Velocidad

m : Masa

ρ : Densidad

A_i : Área interna

$$V_i = \frac{0,982142 \times 10^{-3} \text{ kg/s}}{0,396 \text{ kg/m}^3 \frac{(\pi \cdot 0,02664^2) \text{ m}^2}{4}}$$

$$V_i = 4,45 \text{ m/s}$$

El número de Reynolds se determina a partir de la ecuación:

$$Re = \frac{\rho_{gas} V_i D_i}{\mu_{gas}} \quad (21)$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

V_i : Velocidad

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad

D_i : Diámetro interno

$$Re = \frac{0,396 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{4,45m}{s} \cdot 0,02664m}{391,68 \times 10^{-7} \frac{Kg}{ms}}$$

$$Re = 1198,55$$

Por lo tanto el flujo es laminar. Entonces para el flujo laminar interno se tiene:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = 4,36 \quad (22)$$

Donde:

Nu : Número de Nusselt

h : Coeficiente convectivo

k : Constante

D_i : Diámetro interno

El valor de $k=60,88 \times 10^{-3} W/mK$.

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = 4,36$$

$$hi = \frac{4,36(60,88 \times 10^{-3} W/mK)}{0,02664m}$$

$$hi = \frac{4,36(60,88 \times 10^{-3} W/mK)}{0,02664m}$$

$$hi = 9,96 W/m^2 K$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección externo (h_0), se calcula la velocidad de la corriente libre del flujo de agua.

$$A_o = A_c - A_{tubos} - A_{hogar} \quad (23)$$

Donde:

A_o : Área mojada

A_c : Área

A_t : Área de tubos

A_h : Área del hogar

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi(0,609m)^2}{4} = 0,291m^2$$

$$A_{tubos} = Nt \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$A_{tubos} = 56 \frac{\pi(0,02664m)^2}{4} = 0,03121m^2$$

$$A_{hogar} = \frac{\pi D_h^2}{4}$$

$$A_{hogar} = \frac{\pi(0,4572m)^2}{4} = 0,1641m^2$$

$$A_o = 0,09569m^2$$

Velocidad de corriente libre:

$$V_o = \frac{\dot{V}}{A_o} \quad (24)$$

Donde:

V_o : Velocidad de flujo externo

A_o : Área mojada

\dot{V} : Flujo externo

$$V_o = \frac{1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,09569 \text{ m}^2}$$

$$V_o = 1,91 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

El número de Reynolds se determina a partir de la ecuación:

$$Re = \frac{V_o Dh}{\vartheta} \quad (25)$$

Donde:

V_o : Velocidad de flujo externo

Dh : Diámetro hidráulico

ϑ : Viscosidad cinemática

Se determina el diámetro equivalente (D_h), con la ecuación:

$$Dh = \frac{4 \cdot Af}{Ph} \quad (26)$$

$$Dh = \frac{4 \cdot Af}{Ph}$$

Dónde:

A_f : Sección de flujo

Ph : Perímetro húmedo

P_t : Espacio de los tubos es de 0,0067m

D_o : Diámetro exterior de los tubos 0,0334m

$$Dh = \frac{4 \cdot (P_t^2 - \frac{\pi D_o^2}{4})}{\pi D_o}$$

$$Dh = \frac{4 \cdot (56(0,0067m)^2 - \frac{\pi 0,0334m^2}{4})}{\pi 0,0334m}$$

$$Dh = 0,062m$$

Se reemplaza en la ecuación de Reynolds.

$$Re = \frac{(1,91 \times 10^{-4} m/s)(0,062m)}{0,3533 \times 10^{-6} m^2/s}$$

El valor de ν a la temperatura media del agua 83°C es igual a $\nu = 0,3533 m^2/s$ entonces Reynolds:

$$Re = 33,51$$

Para los valores de $0,4 < Re < 4 \times 10^5, Pr \geq 0,7$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = C \cdot Re^m \cdot Pr^{1/3} \quad (27)$$

Dónde:

Nu : Número de Nusselt

h : Coeficiente convectivo

k : Constante

Re : Número de Reynolds

Pr : Número de Prandtl

Para los valores de m y de C utilizamos la tabla siguiente:

Tabla 6 Valores de C y m

$Re D$	C	m
0.4-4	0.989	0.303
abr-40	ene-00	ene-00
40-4000	0.683	0.466
4000-40000	0.193	0.618
40000-400000	0.027	0.805

Fuente: INCROPERA Frank P. Fundamentos de la transferencia de calor, Pag370

$$Nu = 0,911(33,51)^{0,385}(5)^{1/3}$$

$$Nu = 6,02$$

Entonces:

$$6,02 = \frac{h \cdot D}{k}$$

$$h_o = \frac{6,02(0,671 \frac{W}{m \cdot C})}{0,02664m}$$

$$h_o = \frac{151 W}{m^2 \cdot C}$$

Para la resistencia del tubo tenemos las características:

$$K = 36,86W/m^2 \cdot C$$

$$D_o = 0,0334m$$

$$D_i = 0,02664m$$

La ecuación del coeficiente global de transferencia de calor es la siguiente:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_o \cdot \ln(\frac{r_o}{r_i})}{2 \cdot K_{tubo}} + \frac{1}{h_o}} \quad (28)$$

Dónde:

U_o : Coeficiente global de transferencia de calor

h_i : Coeficiente convectivo lado interno

h_o : Coeficiente convectivo lado externo

K : Conductividad térmica

r_o : Radio externo

r_i : Radio interno

Remplazando los valores antes encontrados:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{\frac{9,96W}{m^2} \cdot C} + \frac{0,0167 \ln\left(\frac{0,0167}{0,01332}\right)}{2 \cdot \frac{36,86W}{m^2} \cdot C} + \frac{1}{\frac{151W}{m^2} \cdot C}}$$

$$U_o = \frac{23,3W}{m^2} \cdot C$$

Se determina la diferencia de la temperatura media logarítmica.

$$DMLT = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)} \quad (29)$$

Dónde:

DMLT : Diferencia de temperatura media logarítmica °C

$\Delta T1$: Diferencia de temperatura 1 °C

$\Delta T2$: Diferencia de temperatura 2 °C

$$\Delta T1 = T_{comb} - T_{salv}$$

$$\Delta T1 = 1259,6C - 151C = 1108,6C$$

$$\Delta T2 = T_{sgas} - T_{eagua}$$

$$\Delta T2 = 494C - 15C = 479C$$

$$DMLT = \frac{1108,6C - 479C}{\ln\left(\frac{1108,6C}{479C}\right)}$$

$$DMLT = 750,28C$$

La ecuación de calor:

$$q = U_o \cdot A \cdot DMLT \quad (30)$$

Dónde:

q : Calor.

A : Área de transferencia de calor

U_o: Coeficiente global de transferencia de calor.

DMLT : Diferencia de temperatura media logarítmica.

$$A = \frac{q}{U_o \cdot DMLT}$$

$$A = \frac{49080,8 \text{ W}}{\frac{23,3 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot C \cdot 750,28 \text{ C}}$$
$$A = 2,81 \text{ m}^2$$

Calculo del tiro de la chimenea. El tiro de la chimenea se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta P = 352 \cdot H \left(\frac{1}{273 + T_a} - \frac{1}{273 + T_H} + 0,08H \right) \frac{P}{P_o} \quad (31)$$

Donde:

ΔP :Tiro natural

H : Altura de la chimenea

T_a : Temperatura ambiente

T_H : Temperatura de los humos en la base

P : Presión atmosférica en la base de la chimenea

P_o : Presión atmosférica a la altura del mar (~10,331 mca.)

$$\Delta P = 352 \cdot (4) \left(\frac{1}{273 + 15} - \frac{1}{273 + 494} + 0,08(4) \right) \frac{7,58}{10,331}$$

$$\Delta P = 332.82$$

Calculo del tanque almacenamiento de combustible. La caldera tienen un consumo de combustible de 2 GPH asumiendo que se tendrá dos prácticas por semana con una duración de 3 horas y se requiere un abastecimiento para dos meses se tiene un volumen necesario para este tiempo de:

$$V = 2 \frac{\text{Gl}}{\text{h}} (6\text{h}) \times 4 \times 2 \quad (32)$$

$$V = 96gl$$

3.2 Diseño mecánico.

El diseño mecánico se lo realizó de acuerdo Al código ASME sección I (reglas para la construcción de calderos de potencia).

3.2.1 Selección de materiales. Los materiales para cada elemento que compone la caldera se los ha seleccionado obedeciendo las reglas del código ASME sección I PG-5 a la PG-14 que determina los materiales a ser utilizados en la construcción de calderas.

Con lo cual se seleccionó los siguientes materiales:

Tabla 7 Designación de materiales para las diversas partes del caldero

Elemento	Material
Casco y Hogar (Shell and Combustion chamber)	SA-516-70
Cabezas (Heads)	SA-516-70
Espejos (Tubesheets)	SA-516-70
Tubos (Tubes)	SA-192
Bridas(Flanges)	SA-516-70
Perfiles y soportes (Shapes and support)	A-36
Pernos (Bolts)	SA-194 2H
Uniones roscadas (Couplings)	SA-105
Tubería (Piping)	A-106B

Fuente: Autores

3.2.2 Propiedades de los materiales.

3.2.2.1 Lámina SA-516-70. Acero para bajas y medias temperaturas sus aplicaciones son en recipientes a presión de bajas temperaturas y calderas.

Figura 26 Composición química del acero A516

	C					Mn		P max	S max	Si max
	t < 12.5mm	12.5mm < t ≤ 50mm	50mm < t ≤ 100mm	100mm < t ≤ 200mm	t > 200mm	t < 12.5mm	t > 12.5mm			
A516 Grado 55	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.6-0.9	0.55-0.98	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 60	0.21	0.23	0.25	0.27	0.27	0.6-0.9	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 65	0.24	0.26	0.28	0.29	0.29	0.85-1.2	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 70	0.27	0.28	0.3	0.31	0.31	0.85-1.2	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-516>)

Figura 27 Propiedades mecánicas del acero A516

	Resistencia a la tracción (ksi)	Resistencia a la tracción (MPa)	Fluencia (ksi)	Fluencia (MPa)	Elongación en 200mm (%)	Elongación en 50mm (%)
A516 Grado 55	55-75	380-515	30	205	23	27
A516 Grado 60	60-80	415-550	32	220	21	25
A516 Grado 65	65-85	450-585	35	240	19	23
A516 Grado 70	70-90	485-620	38	260	17	21V

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-516>)

3.2.2.2 Tubos BWG12 SA-192. Tubería utilizada para intercambiadores de calor y calderas.

Figura 28 Composición química del acero A192

	Composición %
Carbono	0.06-0.18
Manganeso	0.27-0.63
Fósforo, max	0.035
Azufre, max	0.035
Silicio, max	0.25

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-192>)

Figura 29 Propiedades mecánicas del acero A192

Resistencia a la tracción (Mpa)	Punto de fluencia (Mpa)	Elongación (%) en 2 mm o 50 mm
180	325	35

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-192>)

3.2.2.3 *Lámina A-36*. Este acero se utiliza principalmente emperrado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Figura 30 Composición química del acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-36>)

Figura 31 Propiedades mecánicas del acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-36>)

3.2.2.4 *Pernos SA-194 2H.* Pernos para uso en alta presión y servicio de alta temperatura.

3.2.2.5 *Couplings SA-105.* Acero al Carbono para piezas forjadas para aplicaciones de tuberías.

Figura 32 Composición química acero A105

	Composición, %
Carbono, max	0.35
Manganeso	0.60-1.05
Fósforo, max	0.035
Azufre, max	0.040
Silicio	0.10-0.35
Cobre, max	0.4
Níquel, max	0.4
Cromo, max	0.3
Molibdeno, max	0.12
Vanadio, max	0.08

Fuete: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-105>)

Figura 33 Propiedades mecánicas acero A105

Propiedad	
Resistencia a la tracción, min:	70,000 psi (485 MPa)
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Reducción de la superficie, min:	30% min
Dureza, HB, max	187

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-36>)

3.2.2.6 *Tubería A-106B*. La Tubería A-106 es apta para el plegado, abridamiento, operaciones de formado similares, y para ser soldada.

Figura 34 Composición química del acero 106

	Grado A	Grado B	Grado C
Carbono, max	0.25	0.30	0.35
Manganeso	0.27-0.93	0.29-1.06	0.29-1.06
Fósforo, max	0.035	0.035	0.035
Azufre, max	0.035	0.035	0.035
Silicio, min	0.10	0.10	0.10
Cromo, max	0.40	0.40	0.40
Cobre, max	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, max	0.15	0.15	0.15
Níquel, max	0.40	0.40	0.40
Vanadio, max	0.08	0.08	0.08

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-106B>)

Figura 35 Propiedades mecánicas acero A106

	Grado A	Grado B	Grado C
Resistencia a la tracción, min:	48,000 psi [330 MPa]	60,000 psi [415 MPa]	70,000 psi [485 MPa]
Fluencia, min:	30,000psi [205 MPa]	35,000psi [240 MPa]	40,000psi [275 MPa]

Fuente: (<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-106B>)

Condiciones de diseño mecánico. Para el diseño se consideró las condiciones más severas de operación con lo que se garantiza seguridad para la operación de la caldera evitando de esta manera posibles malos funcionamientos y evitando cualquier tipo de peligro que se pueda presentar.

Para simplificar el diseño mecánico se ha tomado una temperatura general de diseño recomendado por el código ASME sección I PFT-50.1 que recomienda 700 °F para la temperatura de diseño.

La presión de diseño se ha tomado 150 psi que es mayor a la presión de operación de la caldera que operara a 60 psi.

3.2.3 *Diseño de las partes sometidas a presión.* Las partes sometidas a presión son:

Presión Interna.

El Casco (Shell)

Espejos (Tubesheets)

Tapa Plana (Flat head)

Presión Externa

La Cámara de combustión (Combustion Chamber)

Tubos de fuego (Fire tubes)

3.2.4 *Diseño del casco.* Para el diseño del casco se ha utilizado las ecuaciones del código ASME sección I PG-27.2.2.

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad P = \frac{2SE(t - C)}{D - 2y(t - C)} \quad (32)$$

Donde:

T: Espesor mínimo requerido mm

C: Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural

D: Diámetro exterior del cilindro mm

E: Eficiencia junta

S: Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi

P: Máxima presión de trabajo admisible MAWP psi

Y: Coeficiente de temperatura

$$t = \frac{150\text{psi} \times 24 \text{ in}}{2 \times 18100 \text{ psi} \times 1 + 2 \times 0,4 \times 150} + 0$$

$$t = 0,099\text{in}$$

Al no existir láminas de este espesor se ha tomado el espesor nominal de 0,25 in con lo cual calcularemos el MAWP.

$$P = \frac{2 \times 18100\text{psi} \times 1 (0,25\text{in} - 0)}{24\text{in} - 2 \times 0,4 (0,25\text{in} - 0)}$$

$$P = 380 \text{ psi}$$

3.2.5 *Diseño de las tapas planas.* Para el diseño de la tapa plana se ha utilizado las ecuaciones del código ASME sección I PG-31.3.2.

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{S}} \quad (33)$$

Donde:

T: Espesor mínimo requerido mm

D: Diámetro menor mm

C: Factor adimensional depende de la fijación de la tapa Fig. PG-31

S: Esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi

$$t = 23.5 \text{ in} \sqrt{\frac{0,33 \times 150 \text{ psi}}{18100 \text{ psi}}}$$

$$t = 1.22 \text{ in}$$

Por disponibilidad de materiales se usó lamina de 1.5 in de espesor con lo cual se calcula nuevamente el MAWP.

$$P = \left(\frac{t}{d}\right)^2 \frac{S}{C}$$

$$P = \left(\frac{1.5 \text{ in}}{23.5}\right)^2 \frac{18100 \text{ psi}}{0,33}$$

$$P = 223.4 \text{ psi}$$

3.2.6 *Diseño de la cámara de combustión.* La cámara de combustión es un elemento que está sujeto a presión externa por lo cual nos asumiremos un espesor de 3/8 in y se ha calculado el MAWP siguiendo el procedimiento indicado el código ASME sección I PFT-51.1.2.

Se calcula los valores:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{18 \text{ in}}{18 \text{ in}} = 1$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{18 \text{ in}}{0,375 \text{ in}} = 48$$

Con estos valores se ingresa en la Fig. G de la sección II, parte D (Anexo A) y encontramos el valor de A.

$$A = 0,0045$$

Con este valor ingresamos en la tabla de materiales aplicables en la sección II, Parte D. (Anexo B) y con la línea a la temperatura de diseño obtenemos el valor de B.

$$B = 11000 \text{ psi}$$

Con este valor calculamos la MAWP con la siguiente ecuación:

$$MAWP = \frac{4 B}{3\left(\frac{Do}{t}\right)} \quad (34)$$

Donde:

B: factor determinado psi

t: Espesor mínimo requerido mm

Do: Diámetro exterior mm

$$MAWP = \frac{4 \times 11000 \text{psi}}{3\left(\frac{18 \text{in}}{0,375 \text{in}}\right)}$$

$$MAWP = 305,5 \text{ psi}$$

3.2.7 *Diseño del tubos de humo.* Los tubos de humos también están sujetos a una presión externa por lo cual se ha comprobado su resistencia para poder asegurar su utilización.

Se ha seguido el mismo procedimiento anterior.

Se calcula los valores:

$$\frac{L}{Do} = \frac{29 \text{ in}}{1,25 \text{ in}} = 23,2$$

$$\frac{Do}{t} = \frac{1,25 \text{ in}}{0,109 \text{ in}} = 11,46$$

Con estos valores se ingresa en la Fig. G de la sección II, parte D (Anexo A) y encontramos el valor de A.

$$A = 0,009$$

Con este valor ingresamos en la tabla de materiales aplicables en la Sección II, Parte D. (Anexo B) y con la línea a la temperatura de diseño obtenemos el valor de B.

$$B = 9500 \text{ psi}$$

Con este valor calculamos la MAWP con la siguiente ecuación:

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

Donde:

B: factor determinado psi

T: Espesor mínimo requerido mm

Do: Diámetro exterior mm

$$MAWP = \frac{4 \times 9500 \text{ psi}}{3\left(\frac{1,25 \text{ in}}{0,109 \text{ in}}\right)}$$

$$MAWP = 1104,5 \text{ psi}$$

3.2.8 *Diseño de bocas (Nozzles)*. Todas las calderas deben estar provistas de boquillas y conexiones de entrada y salida de fluidos, válvula de seguridad, así como para los diferentes instrumentos de control de la caldera. Para instalar una boca en una recipiente a presión, es necesario hacer un agujero en el cuerpo de la caldera al efectuar dicho agujero se está debilitando al material ya que se está retirando una cierta área y las líneas de los esfuerzos que pasaban por esta área pasaran tangentes al agujero por lo cual para evitar fallas se debe calcular si es necesario una compensación para los agujeros realizados para las bocas.

Según la PG-32.1.3 las aberturas que no superen el diámetro máximo determinado para una abertura sencilla no necesita ninguna compensación. El diámetro máximo de una abertura sencilla se lo calcula con la fórmula:

$$d_{max} = 2,75[Dt(1 - K)]^{1/3} \quad (35)$$

Donde:

D: Diámetro exterior del cuerpo mm

T: Espesor nominal del cuerpo mm

K: PD/1,82St

S: Esfuerzo admisible a la temperatura de diseño psi

$$d_{max} = 2,75[24 \text{ in} \times 0,25 \left(1 - \left(\frac{150 \text{ psi} \times 24 \text{ in}}{1,82 \times 18100 \text{ psi} \times 0,25 \text{ in}}\right)\right)]^{1/3}$$

$$d_{max} = 4,13 \text{ in}$$

Como en nuestro caso el mayor diámetro de los agujeros para las bocas es de 4 in entonces no necesitamos compensaciones en ningún caso.

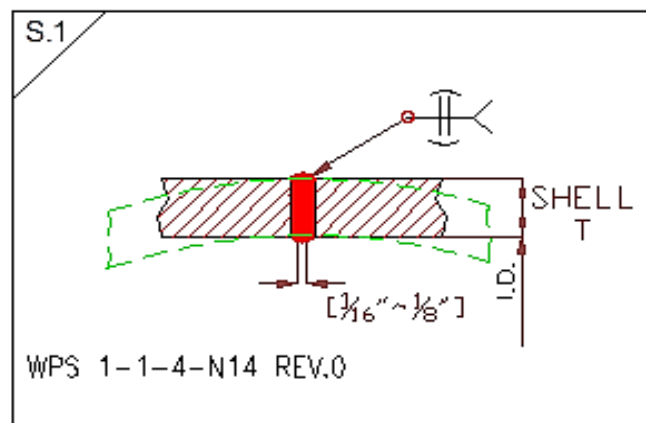
3.2.9 *Diseño de las juntas soldadas.* El procedimiento que se ha utilizado para la fabricación de la caldera es el de soldadura es el proceso mayormente difundido por su gran versatilidad

Para verificar si la soldadura ha sido bien aplicada se ha utilizado la prueba de radiografiado en las costuras longitudinales, pruebas de tintas penetrantes en las costuras circulares de cuerpo y las costuras de los tubos.

Antes de aplicar cualquier tipo de soldadura se ha preparado un procedimiento de soldadura para cada caso en particular.

3.2.9.1 *Soldadura del cuerpo y de la cámara de combustión.* La soldadura del cuerpo y la cámara de combustión se lo realizó con una costura longitudinal con un proceso SMAW como se muestra a continuación.

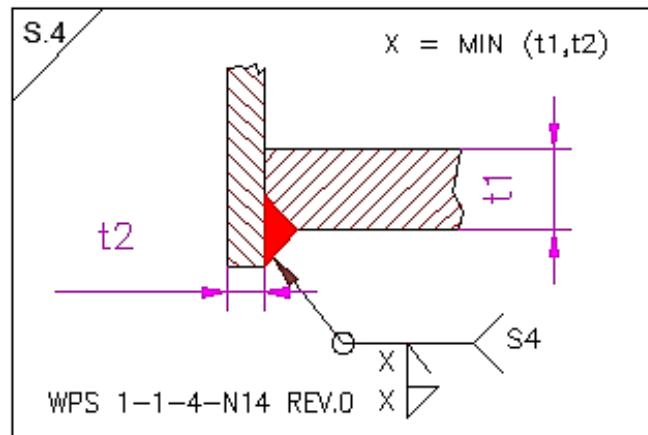
Figura 36 Soldadura de cuerpo



Fuente: IAA WPS

3.2.9.2 *Soldadura del espejo superior y tapa plana al cuerpo.* La soldadura del espejo superior y tapa plana al cuerpo se lo realizó con una costura circular con un proceso SMAW como se muestra a continuación.

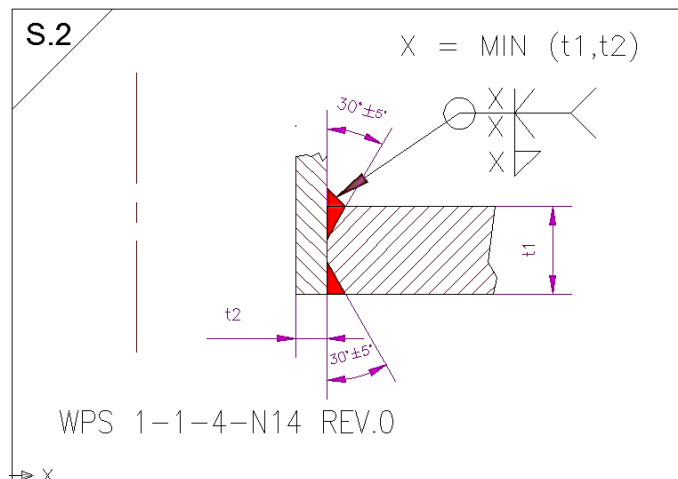
Figura 37 Soldadura espejo superior



Fuente: IAA WPS

3.2.9.3 Soldadura del espejo inferior al hogar y del hogar a la tapa plana. La soldadura del espejo inferior al cuerpo se lo realizó con una costura circular con un proceso SMAW como se muestra a continuación.

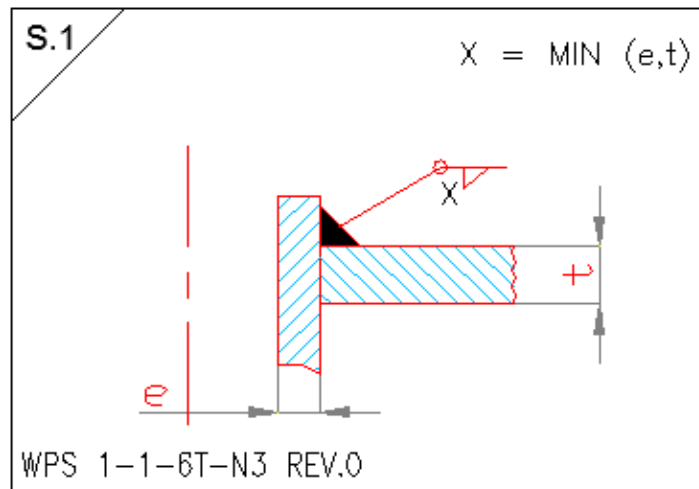
Figura 38 Soldadura del espejo inferior



Fuente: IAA WPS

3.2.9.4 Soldadura de los tubos de humo a los espejos. La fijación de los tubos de humo a los espejos se los hizo siguiendo las recomendaciones del código ASME sección I PFT-12.2 de la cual por facilidad de montaje se ha elegido una fijación por un proceso de soldadura GTAW como se muestra a continuación.

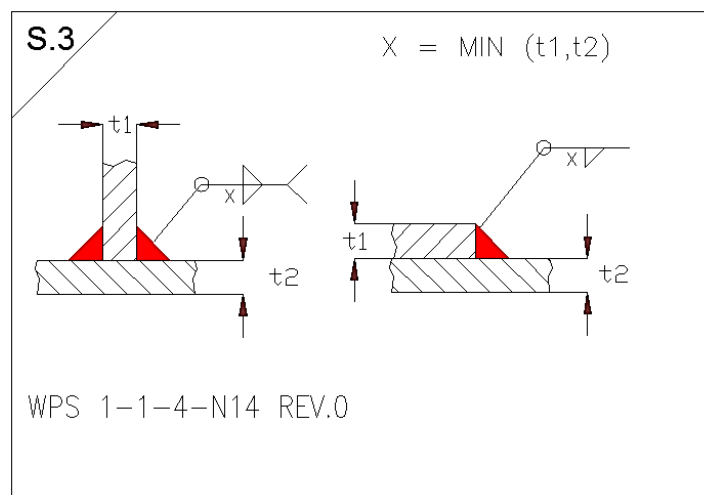
Figura 39 Soldadura de tubos de humo



Fuente: IAA WPS

3.2.9.5 *Soldaduras de soportes y accesorios.* La soldadura de la soportería y accesorios se lo realizó con un proceso SMAW (Shield metal arc welding) como se muestra a continuación.

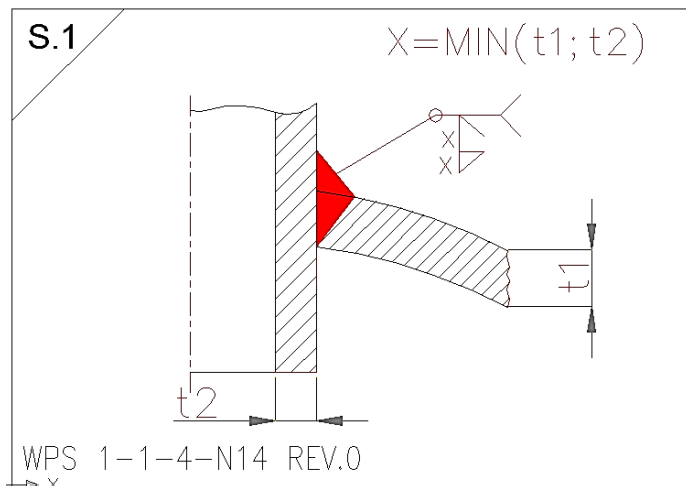
Figura 40 Soldadura de soportes



Fuente: IAA WPS

3.2.9.6 *Soldaduras de las bocas.* La soldadura de los couplings para las bocas se lo realizó con un proceso SMAW como se muestra a continuación.

Figura 41 Soldadura de las bocas



Fuente: IAA WPS

3.3 Sistema de control y accesorios

El sistema de control de la caldera so dispositivos, accesorios que permiten el correcto funcionamiento y son indispensables para la seguridad.

Entre los accesorios de medición para el control de las condiciones de operación de la caldera, están incluidos:

- Válvula de seguridad y de alivio.
- Controlador de nivel de agua.
- Controlador de presión.
- Manómetro.
- Termómetro.
- Quemador.

Válvula de seguridad y de alivio. Esta válvula se dispara cuando alcanza una presión determinada a la cual esta seteada la válvula para nuestro caso esta válvula se seteo a la presión de 135 psi al alcanzar esta presión la válvula se dispara y permanece abierta hasta que se reduzca la presión evitando de esta manera que la caldera se sobre presurice y produzca algún tipo de daño al equipo.

El código ASME sección I recomienda que calderas con superficie de calefacción menor a 500 ft² mínimo 1 válvula de seguridad como nuestra caldera tiene una

superficie de calefacción de 35 ft² y tiene una producción de vapor igual a 143lb/h entonces se seleccionó la válvula.

Marca: KUNKLE

Serie: 6010

Figura 42 Válvula de seguridad



Fuente: <http://www.alliedvalveinc.com/NewImages/pdf/kunkle6000.pdf>

Controlador de nivel de agua. Todas las calderas deben estar equipadas con un controlador de nivel el cual controle el funcionamiento de la bomba para suministro de agua a la caldera y en caso de un nivel muy bajo de agua impida el funcionamiento del quemador.

Un modelo típico de este tipo de dispositivo, es el controlador “Mc DONNELL” que contiene de un flotador, el cual actúa sobre un interruptor eléctrico.

El controlador “Mc DONNELL” va conectado a un indicador de nivel que permite la observación visual de la cantidad de agua que contiene la caldera.

Control utilizado:

Marca: Mc DONNELL & MILLER

Serie: 150S

Presión: sobre 150 PSI

Utilidades: Controla arranque y parada de la bomba de agua, apaga por bajo nivel de agua.

Figura 43 Controlador de nivel



Fuente: <http://www.ciciboilers.com/images/Mcd150.jpg>

Controlador de presión. Es un dispositivo de control de presión con fines de protección en la seguridad operacional de las calderas, que limitan el exceso de las presiones, actuando sobre el sistema eléctrico que a su vez conecta o desconecta el quemador.

Control utilizado:

Marca: HONEY WELL

Serie: L404F.

Rango de presión: 10 a 150 psi

Utilidades: Controla arranque y parada del quemador.

Figura 44 Controlador de presión



Fuente: https://encryptedbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQkpPyTg2_7ZJ2mfUQ8GTzgz42O_77cX4rxuD-ofP4eusWI50E8ow

Manómetro. Es un instrumento que indica la presión de operación de la caldera y va instalado en la parte superior de esta. Los manómetros son generalmente de tipo burdón y lleno de glicerina para evitar mediciones erróneas por algún tipo de vibración.

Figura 45 Manómetro



Fuente: http://www.componentesperu.com/imgs/marsh_3.jpg

Termómetro. Es un instrumento que indica la temperatura de operación de la caldera y va instalado en la parte superior de esta. Los termómetros van instalados generalmente en un termo pozo que brinda seguridad.

Marca: WIKA

Serie: A50.10/100/0

Figura 46 Termómetro



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/termometros-bimetalicos-dial-6196-2258623.jpg

Quemador. Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos y producir calor generalmente mediante una llama.

Habitualmente va asociado a una caldera o un generador de calor para calentar agua o aire, pero también se usa en procesos industriales para calentar cualquier sustancia.

El combustible usado puede ser gaseoso, generalmente gas natural, butano, propano, etc.; líquido, generalmente gasóleo o una combinación de ambos (gas y gasóleo), en cuyo caso se denomina quemador mixto.

Una bomba de gasoil se encarga de someter el combustible líquido a una elevada presión que, al introducirlo por un tubo hacia una boquilla con un orificio muy pequeño, hace que salga pulverizado y, por efecto venturi, se mezcla con aire, que un ventilador se encarga de introducir en el hogar de la caldera. La ignición se produce por medio de unos electrodos entre los que salta un reguero de chispas.

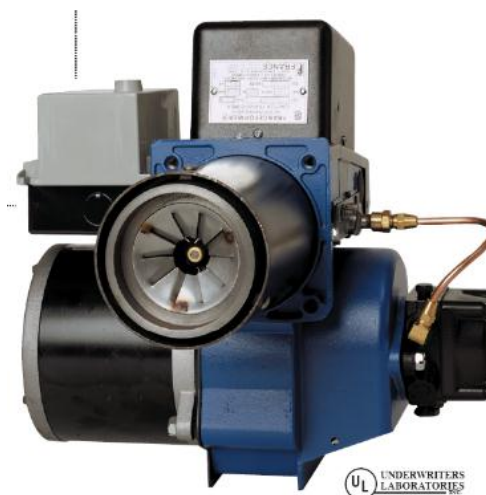
Quemador utilizado:

Marca: WAYNE HS

Serie: 300-715C

Rango de consumo: 0,5-3 GPH

Figura 47 Quemador



<http://venamet.com/userfiles/image/quemador%20ehW.bmp>

CAPÍTULO IV

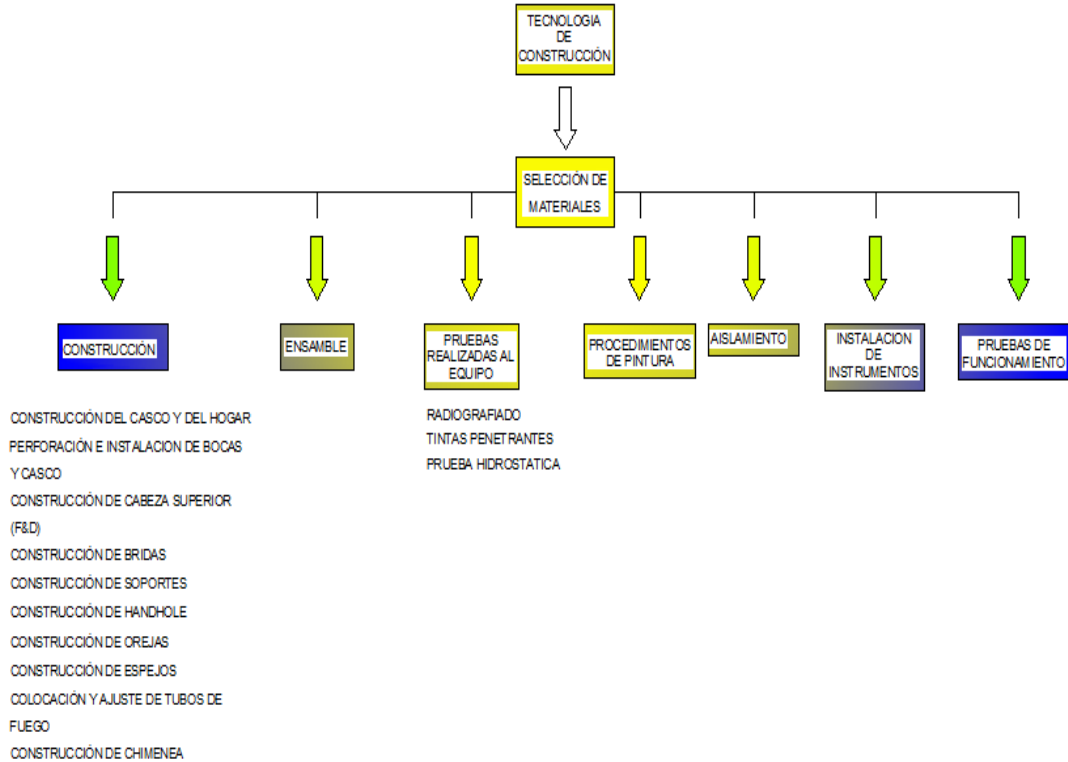
4. CONSTRUCCIÓN

La construcción y detalles de fabricación fueron realizados en IAA (Industria Acero de los Andes), mediante un convenio realizado por la Facultad de Mecánica y la mencionada Industria, a continuación en este capítulo se detalla su construcción y montaje hasta formar el elemento final.

4.1 Tecnología de construcción

A continuación se describe el proceso y los métodos utilizados en la construcción del caldero.

Figura 48 Tecnología de construcción



Fuente: Autores

4.2 Selección de materiales

El primer paso a seguir fue la selección de los materiales la cual se realizó en base al código ASME sección I en la cual nos menciona el tipo de materiales aceptables para la fabricación de calderos. En nuestro caso se ha seleccionado:

Placas el acero SA- 516-70 y para tubería el acero SA-192.

4.2.1 Construcción del casco y del hogar. En la construcción del casco y el hogar se partió con el trazado, método que se suple la mesa de corte térmico con guía CNC, en la cual se ingresa el archivo de los planos con sus medidas exactas, las cuales son cortadas posteriormente en la lámina seleccionada, en nuestro caso SA-516-70.

Una vez lista la placa con las medidas requeridas se ha realizado el rolado del casco y hogar, concluyendo con el soldado de los mismos utilizando el método de soldadura SMAW (Shield Metal Arc Welding) con junta longitudinal, misma que será analizada con ensayos radiográficos para comprobar que no existan defectos en la soldadura y de esta manera garantizar su eficiencia.

Figura 49 Trazado, corte y rolado del casco (Shell)



Fuente: Autores

Figura 50 Unión del casco y hogar



Fuente: Autores

4.2.2 *Perforación e instalación de las bocas en el casco.* Una vez listo el casco del caldero se procedió a la perforación de los agujeros en el casco con oxicorte para luego realizar la instalación de los couplings en los cuales irán instalados los instrumentos requeridos por el caldero.

Figura 51 Instalación de couplings



Fuente: Autores

4.2.3 *Construcción de la cabeza superior (F&D).* Para la construcción se realizó el corte de una placa de acero SA 516-70 partiendo de su desarrollo para luego introducirla a la máquina de bombeado como se puede ver en la Figura 37 hasta dejarlo de las medidas especificadas en los planos de detalle proporcionados.

Figura 52 Bombeado de la cabeza F&D



Fuente: Autor

4.2.4 Construcción de las bridas. En la construcción de las bridas se parte de la selección del tipo de brida a utilizar, en nuestro caso se ha utilizado bridas SLEP-ON las cuales fueron fabricadas de placas de acero SA-516-70 que luego de ser cortadas se procede a dar las características requeridas en el torno correspondientes a dimensiones especificadas en los planos de detalle.

Figura 53 Trazado, corte y formado de las bridas



Fuente: Autor

Posteriormente se concluyó con el trazado y la perforación de los agujeros para los pernos de sujeción.

Figura 54 Perforación de las bridas



Fuente: Autor

4.2.5 *Construcción de los soportes (LUGS).* Para la construcción de los soportes se inició con el corte de ángulos y placas de acero SA-516-70 para luego ser soldados mediante el procedimiento SMAW (Shield metal arc welding) con electrodos E 7018.

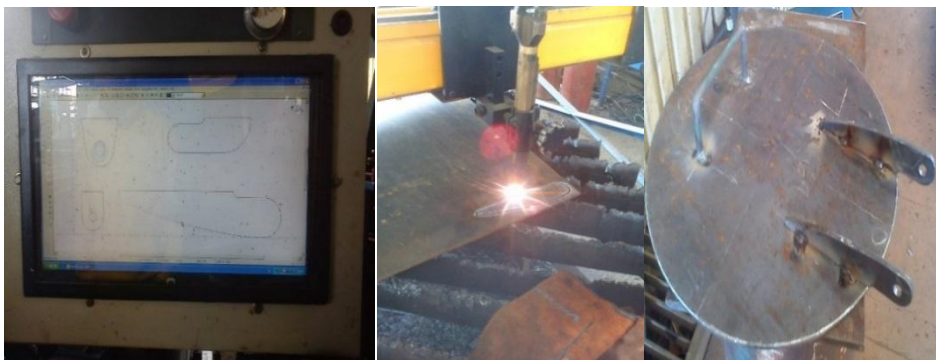
Figura 55 Soportes del caldero (Legs)



Fuente: Autores

4.2.6 *Construcción de tapa de mantenimiento (handhole).* Para la construcción se inició con el corte de todas las placas de acero SA 516-70 en la mesa de corte térmico con guía CNC .Una vez listo se procedió al ensamble del handhole y la unión a la base del caldero utilizando el método de soldadura SMAW con electrodo E 7018.

Figura 56 Trazado, corte y unión del handhole



Fuente: Autores

4.2.7 Construcción de orejas (lugs). Para la construcción se basó en un cálculo previo para poder determinar sus espesores los cuales debieron cumplir requerimientos específicos, una vez listo el cálculo se procedió al corte en placas de acero SA 516-70 en la mesa de corte térmico con guía CNC.

Listas las placas se han realizado la perforación de los agujeros los cuales nos permitirán el izaje una vez finalizado el caldero.

Figura 57 Orejas de izaje



Fuente: Autores

4.2.8 Construcción de espejos. En la construcción de los espejos se requiere de una plantilla la misma que se utilizó para el graneteado en las placas, posteriormente se ha realizado el taladrado en los espejos tanto superior como inferior en forma simultánea dejándolos listos para su ensamble con los tubos de fuego.

Figura 58 Espejos



Fuente: Autor

4.2.9 *Colocación y ajuste de los tubos de fuego a los espejos.* Para la colocación y ajuste de los tubos de fuego se ha realizado el ajuste hasta dejarlos en las posiciones requeridas en los espejos.

Una vez colocados los tubos de fuego se procedió a soldar a los espejos mediante el procedimiento de suelda SMAW (Shield metal arc welding) con electrodos E7018.

Figura 59 Tubos de fuego



Fuente: Autores

Para mejorar el acabado se pule las soldaduras como se observa en la siguiente figura.

Figura 60 Acabado de tubos de fuego



Fuente: Autores

4.2.10 Construcción de la chimenea. La construcción de la chimenea se ha realizado mediante la unión soldada de una brida Slip-on y un tubo de material SA 516-70.

En dos partes, se ha unido una brida y un tubo mediante el procedimiento de soldadura SMAW con electrodo E7018, que a su vez van unidos a la cabeza F&D del caldero en la parte superior, este será el lugar por el cual se va a realizar la evacuación de los gases producto de la combustión.

Figura 61 Chimenea



Fuente: Autores

4.2.11 Ensamble de la caldera. El ensamble de la caldera se ha realizado basándose en la accesibilidad de los soldadores a las partes internas por lo que se ha realizado el ensamble en el siguiente orden.

- (a) Ensamble de haz de tubos al hogar (combustión chamber)
- (b) Ensamble de la tapa inferior al casco (shell)
- (c) Ensamble de (a) y (b).
- (d) Ensamble de soportes (legs) a (c).
- (e) Ensamble de orejas (lugs) a cabeza superior F&D y chimenea

Figura 62 Orden de ensamble



Fuente: Autores

4.3 Pruebas realizadas al equipo.

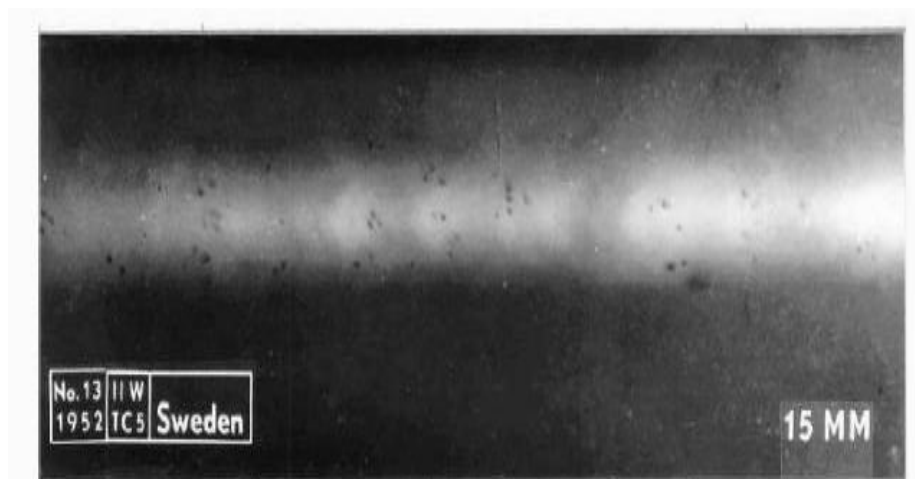
Las pruebas o ensayos realizados en el caldero fueron los llamados ensayos no destructivos. Los ensayos no destructivos son un tipo de prueba practicada a un material que no altera de forma permanente sus propiedades físicas, químicas,

mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño a la muestra examinada. Dentro de los ensayos no destructivos practicados en el caldero son: radiografía, inspección visual, tintas penetrantes y finalmente la prueba hidrostática.

4.3.1 Radiografiado. Este tipo de prueba se ha realizado en el casco (Shell) de forma longitudinal por personal calificado de IAA.

Figura 63 Prueba radiográfica



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/11/soldadura1.jpg>

4.3.2 Tintas penetrantes. La siguiente prueba se realizó en todas las soldaduras del caldero en base al código ASME misma que se realizó por el personal calificado de IAA.

Figura 64 Ensayo de tintas penetrantes



Fuente: Autores

4.3.3 Prueba hidrostática. La siguiente prueba se realizó en base al código ASME sección I parte PG-99 la misma que señala que este tipo de pruebas en calderos pirotubulares debe ser del 10% la presión de diseño, el tiempo requerido para esta prueba fue de 1h 15 min tiempo que fue determinado en base a criterios del inspector.

En el transcurso de la primera hora el inspector observó si se presentaba algún tipo de alteraciones en las soldaduras o fugas y los últimos 15 min se baja la presión a la mitad ya que en el momento de bajar la presión se producen fugas y demás fallas.

Figura 65 Prueba hidrostática



Fuente: Autores

4.4 Procedimiento de pintura.

Para iniciar este procedimiento se ha elaborado previamente un documento o proceso de pintura en el cual mediante cálculos se ha proporcionado datos como los de espesores de pintura y capas a recubrir en el tanque. Los procesos de pintura fueron proporcionados por IAA (Industria Acero de los Andes) los mismos que se detallan en el (Anexo C).

Con los datos obtenidos del cálculo se inicia con el proceso de granallado el mismo que se encarga de dejar el recipiente libre de impurezas oxidación y que se encuentre listo para proceder a recubrir con la primera capa de pintura (Inorganic Zinc) la cual se dejó secar 24 h que es el tiempo requerido y óptimo para poder seguir con el proceso.

Figura 66 Caldero pintado con primera capa



Fuente: Autores

Una vez transcurrido el tiempo se continuó con la segunda capa (Epoxy) y de igual manera el tiempo a transcurrir fue similar.

Hasta que por último se realizó el recubrimiento de la capa final (Poliurethane) la cual se dio el acabado con el color previamente seleccionado en nuestro caso el blanco.

4.5 Aislamiento del caldero

El aislamiento de caldero se ha realizado con lana cerámica y un recubrimiento final con foil aluminum dando este el acabado superficial al equipo.

Figura 67 Aislamiento



Fuente: Autores

4.6 Instalación de instrumentos

Luego que se concluyó la parte de pintura y pruebas se procedió a la instalación de instrumentos los cuales cuentan con sus respectivos datasheets (anexo D) los cuales cuentan con toda la información referente a los mismos.

Figura 68 Instalación de los equipos



Fuente: Autores

4.7 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas iniciales de funcionamiento fueron realizadas en IAA(Industria Acero de los Andes), mismas que fueron supervisadas por el personal de Control de Calidad y Producción los cuales controlaron y revisaron el funcionamiento del equipo el cual con varias pruebas de funcionamiento realizadas al equipo se afino detalles y se puso en marcha de una manera óptimo garantizando de esta manera su funcionalidad y seguridad.

Figura 69 Instalación de los equipos



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5 INSTALACIÓN, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO

5.1 Instalación

La fase de instalación abarca desde la llegada del equipo hasta el montaje y prueba parcial del mismo a continuación se detalla los pasos que se debió seguir en la instalación del equipo.

- Elevación e instalación mecánica
- Instalación de instrumentos

5.1.1 Elevación e instalación mecánica. Esta etapa inicial se la realizó en el momento en que el equipo llegó de la empresa IAA (Industria Acero de los Andes) al laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica por lo que se siguió el siguiente proceso:

Para llevar a cabo este proceso previamente se debió preparar:

- Espacio físico donde fue instalado el equipo. Para que la instalación se realice de forma correcta se revisó el lugar, características generales y los planos del equipo. Esto se lo realizó antes de la llegada del equipo para que de esta manera no se presentara ningún contratiempo.
- Pluma (maquinaria que permitió el desmontaje del equipo a su llegada).
- Personal de apoyo (para el desmontaje y ubicación en el respectivo lugar).

5.1.2 Instalación de instrumentos. Esta se realizó luego que el equipo se ubicó en el lugar donde va a operar, para la instalación de instrumentos se siguió recomendaciones de los catálogos los mismos que nos aseguran su correcto funcionamiento los instrumentos instalados son:

- Quemador a diésel
- Medidor de nivel
- Termómetro
- Manómetro

- Presuretrol
- Válvula de seguridad

5.1.3 Lista de verificación de requerimientos. Se recomienda seguir una lista de chequeo, para verificar el cumplimiento de las diferentes etapas antes de ordenar/comenzar la puesta de servicio del equipo

Tabla 8 Lista de chequeo

Descripción	Chequeo	Notas
Preparación del espacio para instalación	X	
Conexiones de entrada de agua y salida de vapor	X	
Instrumentos conectados	X	
Agua en el tanque de reserva disponible	X	
Combustible disponible	X	
Conexión de la chimenea	X	
Instrumentación verificada	X	

Fuente: Autores

5.2 Pruebas de funcionamiento

5.2.1 Arranque y parada del equipo

5.2.1.1 Puesta en marcha. Éste es el punto en el cual todo el trabajo y las preparaciones involucradas en el diseño y la construcción del caldero se unen. El equipo ha sido diseñado y construido por un periodo largo de tiempo y la tendencia es apresurar esta última etapa. Es imperativo que todas las fases de la puesta en marcha sigan una orden claro y sistemático.

Antes de poner en marcha el equipo se realizó las siguientes actividades con el fin de verificar que sea seguro la puesta en marcha:

- Verificación de conexiones a las tuberías de red.

Inspeccionar que las bocas estén conectadas a la tubería respectiva con sus empaques y pernos.

b) Detección de fugas

Antes de la utilización del equipo se debe comprobar la existencia de fugas en todas las conexiones del equipo.

c) Verificación de posición de válvulas de ingreso y descarga.

Verificar que las válvulas de ingreso y salida se encuentren en la posición requerida (abierta o cerrada).

d) Verificación de señal en los instrumentos.

Verificar que la señal de los instrumentos esté operando.

e) Revisar el nivel de agua de almacenamiento.

Revisar el nivel de agua de almacenamiento del equipo, cuando llegue a sus niveles mínimos y máximos.

f). Verificar que el nivel de diésel en el tanque sea el necesario para su funcionamiento normal.

g) Verificar el ducto de salida de gases (chimenea) se encuentre libre de todo obstáculo y se encuentre en posición requerida.

5.2.1.2 Fuera de servicio

- Verificar el estado del quemador es decir asegurarse de revisar el estado del quemador una vez concluida la practica q no exista ningún tipo de fuga de diésel ni conexiones sueltas, de preferencia dejar pulsado el botón de emergencia (emergency) de la caja de control (junction box).
- Verificación de posición de válvulas de ingreso y descarga. Verificar que las válvulas de ingreso y salida se encuentren en la posición requerida (abierta o cerrada).

5.2.2 Guía de solución de problemas operativos. Solo un mantenimiento adecuado, y el análisis de las condiciones particulares del Generador de Vapor, permiten dar una solución efectiva a un problema cuando este se presenta.

Como una guía orientativa, se incluye la siguiente tabla para ayudar a determinar posibles causas de problemas y orientar su solución.

Antes de comenzar las pruebas, comprobar primero si hay pérdidas externas.

Una vez ubicada la causa, comprobar el ítem en la tabla para ubicar la solución posible.

Tabla 9 Problema, causa, posible solución

Problema	Causa probable	Posible solución
Fugas de agua por las conexiones del cuerpo	Deterioro de los empaques de las conexiones	Cambiar los empaques.
	Ajuste de las conexiones del tanque	Revisar que las conexiones estén ajustadas.
Fallo de comunicación en sensores de nivel	Cable de comunicación estropeado	Revisar/cambiar el cable
	Parámetros de comunicación incorrectos	Revisar/cambiar parámetros
Desbordamiento del agua	Deterioro del transmisor de nivel	Cambio del transmisor
	Deterioro del switch de nivel	Cambio del switch
	Límite de llenado incorrecto	Ajustar los límites de los parámetros.
Fallo en el encendido del quemador	No existe diésel en el reservorio	Llenar el reservorio y luego cebarlo. Mantener pulsado el botón reiniciar en el quemador por 6 segundos
	Muy bajo nivel de agua	Chequear que la luz de la caja de control esté funcionando

Fuente: Autores

5.3 Mantenimiento

Esta sección ha sido insertada para servir como una guía diaria, semanal, mensual y anual de mantenimiento preventivo para esta facilidad. Cualquier boletín futuro de mantenimiento debería ser insertado en esta sección. La puesta en marcha y otros datos operativos pueden ser colocados aquí para utilización futura. Esto permitirá determinar cualquier disminución o elevación de la eficiencia del equipo, así como también indicando por adelantado, funcionamiento defectuoso del equipo.

Las hojas de verificación del mantenimiento regular y los registros deberían ser archivados para asegurar que el mantenimiento del equipo no está descuidado.

Tabla 10 Registro de mantenimiento

Actividad	Frecuencia				Observaciones
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral	
Verificar posición de las válvulas	X	X	X	X	
Verificar señal de los instrumentos	X	X	X	X	
Inspección visual de fugas		X	X	X	
Verificar nivel de combustible existente en el reservorio(diésel)	X	X	X	X	
Verificar reservorio de agua	X	X	X	X	
Verificar pintura externa				X	
Verificación del ducto de salida de gases				X	
Inspección de corrosión en pernos				X	
Inspección de conexiones en la caja de control			X	X	
Limpieza externa del caldero				X	
Limpieza interna del caldero				X	
Inspección de corrosión en el tanque				X	
Vaciar completamente el agua existente en el caldero			X	X	
Revisar el estado del aislamiento			X	X	

5.3.1 Overhaul. Este mantenimiento o parada total del equipo se debe realizar cada 5 años, en este mantenimiento general se debe planificar con anticipación y adquirir los repuestos de recambio obligatorios y de esta manera seguir las recomendaciones mencionadas:

1. Realizar el overhaul de una manera ordenada y sistemática de manera que en el momento de volver armar no se presenten complicaciones.
2. Realizar una limpieza externa e interna del caldero.
3. La limpieza interna realizarla por el handhole y eliminando todos los residuos acumulados.
4. Vaciar completamente el agua existente en el caldero y retirar los sedimentos que se encuentren acumulados en el mismo por el drenaje.
5. Desmontar la chimenea revisar y limpiar posibles obstáculos o residuos existentes.
6. Desmontar la brida de la cabeza superior para su posterior limpieza o baqueteado de los tubos de humos.
7. Desmontar el quemador para su posterior revisión obligatoria con un técnico especializado o personal que tenga conocimiento del mismo , este es muy importante su mantenimiento ya que viene a ser el corazón del equipo y es el instrumento más propenso a sufrir averías.
8. Los instrumentos instalados en el caldero verificar su funcionamiento y de ser necesario calibrarlos.
9. La válvula de seguridad (PSV) revisarla y de ser necesario volver a recalibrarla
10. Revisar partes y accesorios deteriorados y que necesiten ser restituidos, para su restitución basarse en los catálogos
11. Cambio obligatorio de empaques existentes (gaskets KLINGERIT 1000).
12. Realizar una inspección general de la estructura de suportación principal, corrosión y deformaciones principalmente
13. Realizar la inspección del estado del aislamiento.
14. La parte externa del caldero inspeccionarla visualmente y realizar una limpieza con materiales apropiados y para restituir su pintura observar los catálogos de pinturas para utilizar el procedimiento de pintura original.
15. Finalmente volver a ensamblar todas y cada una de las partes y accesorios desmontados de forma ordenada.

16. Realizar pruebas de funcionamiento (puesta en marcha) del equipo.

5.4 FAQ (PREGUNTAS Y RESPUESTAS FRECUENTES).

¿Existen fugas de producto por las conexiones del tanque?

Verifique que los empaques se encuentren en buen estado, de lo contrario proceder a cambiarlos.

Verificar que pernos y conexiones tengan ajuste requerido.

¿El indicador de nivel se encuentra apagado?

Verificar que las conexiones del instrumento estén alimentadas desde el cuarto de control o fuente de alimentación.

¿El indicador de nivel no muestra un nivel correcto?

Verificar que la calibración del instrumento, este de acuerdo a los parámetros de seteo iniciales.

Verificar unidades de medición, estén acorde al seteo inicial.

¿El nivel del llenado del tanque, está superando el límite máximo permitido?

Verificar que el switch de nivel se encuentre operativo.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis económico determina los costos totales en que incurrirá el proyecto categorizando los costos directos e indirectos.

En la resolución de este proyecto se evaluarán los gastos realizados desde el diseño hasta la culminación de la construcción y montaje del generador de vapor.

A continuación se presentan tablas en las que se especifican los costos directos e indirectos del proyecto.

6.1 Costos directos

Son los gastos efectuados para realizar esa unidad de obra y que se los puede imputar a un rubro determinado y sólo existen si la unidad de obra se ejecuta.

COSTOS DIRECTOS MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	TOTAL	COSTO TOTAL
Manipuleo interno	19	hh	5.5	106.43	
Corte mesa	29	hh	5.5	158.31	
Conf. Rolado	7	hh	5.5	38.82	
Conf. Bombeado	5	hh	5.5	27.50	
Conf. Rebordeo	11	hh	5.5	58.33	
Ensamble	60	hh	5.5	332.74	
Sold. Saw automática	121	hh	5.5	665.49	
Sol. Smaw manual	40	hh	5.5	219.76	
Esmerilado	9	hh	5.5	48.45	
Maquinado	9	hh	7.5	65.31	
Prueba hidrostática	2	hh	5.5	13.20	
Embalaje y despacho	13	hh	5.5	70.95	
TOTAL					1805.27

Tabla 11 Costos directos mano de obra

Fuente: Autores

COSTOS DIRECTOS DE MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	TOTAL	COSTO TOTAL
MATERIALES					
Lamina SA-36	8	kg	1.23	9.84	
Lamina SA-516 GR70	457	kg	1.3	594.1	
Perfil SA-36	46	kg	1.54	70.84	
Tubo SA-192	97	kg	4.85	470.45	
Eje Acero al carbono	1	kg	3.8	3.8	
Accesorios y válvulas	64	unid	7.2	460.8	
Gasket	3	unid	16.6	49.8	
Pernos acero al carbono	5	kg	6.4	32	
Consumibles	1	unid	397.00	397	
Pintura	3	gal	33.02	99.06	
					2187.69
INSTRUMENTOS					
Quemador HS	1	unid	790.00	790.00	
Controlador de nivel MC DONELL	1	unid	630.00	630.00	
Controlador de presión Honeywell	1	unid	100.00	100.00	
Manómetro Marsh	1	unid	45.00	45.00	
Termómetro Wika	1	unid	54.00	54.00	
Termo pozo Wika	1	unid	63.00	63.00	
Visor de nivel	1	unid	25.00	25.00	
Tablero de control y Accesorios	1	unid	120.00	120.00	
					1827.00
TOTAL					4014.69

Tabla 12 Costos directos de materiales

Fuente: Autores

Tabla 13 Costos directos de transporte

COSTOS DIRECTOS DE TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	TOTAL	COSTO TOTAL
Envió quemador HS	1	\$/Envió	5.00	5.00	
Envió válvula PSV	1	\$/Envió	7.00	7.00	
Envió Controlador de nivel MC DONELL	1	\$/Envió	5.00	5.00	
Transporte de equipo	1	\$/Envió	200.00	200.00	
TOTAL					217.00

Fuente: Autores

Tabla 14 Costos directos totales

COSTOS DIRECTOS TOTALES	
Descripción	Valor total
Mano de obra	1805.27
Materiales	4014.69
Transporte	217.00
TOTAL	6036.962748

Fuente: Autores

6.2 Costos indirectos

Son los gastos generales en que incurre el contratista, tanto en sus oficinas como en el sitio de la obra, no atribuibles a una tarea en particular, pero necesarios para efectuar los trabajos en general, por su naturaleza no se los puede imputar directamente a un rubro determinado y deben prorratearse. Dentro de éstos se tiene:

Salarios y prestaciones legales del personal directivo, técnico y administrativo de la empresa, depreciación, mantenimiento, alquileres y seguros de edificios, bodegas, predios, etc.;

Tabla 15 Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	TOTAL	COSTO TOTAL
Costos por ingeniería	1		331.00	331	
Costos indirectos de fabricación	1		106.00	106	
Costos por imprevistos	1		100	100	
TOTAL					537

Fuente: Autores

6.3 Costos totales.

Lógicamente es la suma de los costos directos e indirectos lo cual nos dará el coste total de nuestro equipo.

Tabla 16 Costos totales

COSTOS TOTALES	
Costos directos	6169.62
Costos indirectos	326
TOTAL	6495.62

Fuente: Autores

El costo total del equipo es de \$ 6495,62 (seis mil cuatrocientos noventa y cinco dólares americanos con 62/100).

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se ha comprobado en el diseño térmico que los valores y datos proporcionados por los fabricantes se acercan a los valores calculados, además con el correcto uso de estos valores nos permitirá ahorrar un tiempo considerable en los cálculos de futuros proyectos similares.

En la construcción de esta caldera se han aplicado técnicas en el área mecánica, recomendadas por normas internacionales lo cual nos permite aplicar estos conocimientos de una manera más técnica.

Por ser una máquina térmica en la cual intervienen diferentes parámetros como presión temperatura, combustión se ha tomado principal atención en los equipos de control y seguridad para garantizar la integridad del personal alrededor de la misma.

Para la instalación se ha tomado en cuenta las normas de seguridad existentes en el laboratorio de transferencia de calor para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del equipo dentro del laboratorio.

7.2 Recomendaciones

Al realizar los ensayos de laboratorio, se debe asegurar y comprobar que las condiciones necesarias para el funcionamiento como el agua de alimentación y el nivel de combustible se encuentren adecuadas para el funcionamiento de la caldera.

Para obtener resultados confiables en la práctica de laboratorio, se deberá seguir ordenadamente y de forma obligatoria el procedimiento que se menciona en la guía de laboratorio.

Es importante llevar un control adecuado del mantenimiento tal como se explica en el manual de mantenimiento en el capítulo V.

Adquirir un equipo analizador de gases de combustión para determinar la eficiencia de la combustión y determinar el impacto ambiental que se genera.

Una futura construcción de una sala de máquinas para la instalación de este equipo y de otros que sirven de suministro para los diferentes bancos de pruebas teniendo de esta manera una mejor distribución y organización de los equipos dentro del laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

ATTRIBUTION NON-COMMERCIAL. 2010.

<http://www.scribd.com/doc/39783301/Combustion>. [En línea] 2010. [Citado el: 29 de Junio de 2013.]

CISNEROS, Clara. 2000. *elementos de Corrosión*. Barcelona : ARIEL, 2000.

CORTÉZ, José M. 2007. *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales*. Lima : Elsievier, 2007.

DANILIN, OSCAR. 1999. <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/integ2/combustion.pdf>. [En línea] 1999. [Citado el: 28 de Junio de 2013.]

Electroindustrial. 2009.

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1135&tip=7>. [En línea] Electroindustrial, 2009. [Citado el: 25 de Agosto de 2013.]

ESAB. 2014. <http://www.esabna.com/mx/sp/educacion/Procesos/Soldadura-por-Arco-Sumergido.cfm>. [En línea] 2014. [Citado el: 01 de Febrero de 2014.]

EYHERALDE, MIGUEL. 2012.

<http://industriales.utu.edu.uy/archivos/soldadura/09%20Proceso%20GMAW%20FCAW.pdf>. [En línea] 2012. [Citado el: 14 de Junio de 2013.]

FLORES, CARLOS. 2009. http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_MEC01.pdf. [En línea] 2009. [Citado el: 23 de Abril de 2013.]

GALVES, Remigio. 2002. [En línea] 2002. [Citado el: 31 de Agosto de 2013.] www.esepoch.edu.com.

GARCIA, RICARDO. 2001.

<http://kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>. [En línea] 2001. [Citado el: 14 de Agosto de 2013.]

HERRERA, OSCAR. 2012. <http://www.monografias.com/trabajos46/soldadura-por-arco/soldadura-por-arco.shtml>. [En línea] 2012. [Citado el: 23 de Julio de 2013.]

2008. <http://www.scribd.com/doc/178095789/Tipos-de-Calderos>.

<http://www.scribd.com/doc/178095789/Tipos-de-Calderos>. [En línea] SCRIBD, 2008.

<http://www.scribd.com/doc/178095789/Tipos-de-Calderos>.

ICL, Ingeniería de Corrosión Ltda. 2002.

http://www.iclcorrosion.com/index.php?option=com_content&view=article&id=51:icl-ingenieria-de-corrosion-ltda&catid. [En línea] 2002. [Citado el: 03 de Mayo de 2013.]

J.M., MOLINA L.A. y ALONSO. 1996. *Calderas de Vapor en la Industria*. Bilbao : Cadem-Eve, 1996.

JIMÉNEZ, GREGORY. 2013. <http://clubensayos.com/Temas-Variados/Soldadura-Con-Arco-De-Tungsteno/1402909.html>. [En línea] Noviembre de 2013. [Citado el: 24 de Diciembre de 2013.]

MOLINA, JM. 1996. *Calderas de Vapor en la Industria*. Bilbao : Cadem-Eve, 1996.

- RAGATZ, R. 1982.** *Balances De Materia Y Energia*. s.l. : Reverte, 1982.
- ROJAS, DANIEL. 2008.** <http://www.scribd.com/doc/178095789/Tipos-de-Calderos>. [En línea] 2008. [Citado el: 24 de Junio de 2013.]
- RUIZ, MARÍA. 2010.** <http://www.scribd.com/doc/185274947/Transferencia-de-Calor>. [En línea] 2010. [Citado el: 24 de Junio de 2013.]
- SISTENDCA. 2012.**
<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>. [En línea] 2012. [Citado el: 24 de Agosto de 2012.]
- SOLA, Alexis Rolando. 2012.** *Caracterización del grafito en hidro fluido con aplicación del Ultrasonido TESIS*. Riobamba : Facultad de Mecánica, 2012.
- Textos Cientificos. 2006.** <http://www.textoscientificos.com/quimica/combustion>. [En línea] 2006. [Citado el: 12 de Agosto de 2013.]
- Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006.**
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0485_M.pdf. [En línea] Abril de 2006. [Citado el: 25 de Junio de 2013.]
- Wikipedia. 2009.** http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_t%C3%A9rmica. [En línea] 2009. [Citado el: 24 de Junio de 2013.]

