



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN
CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO PARA
EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.”**

**ADONÍAS PATRICIO LÓPEZ LÓPEZ
LUIS ENRIQUE SALAZAR OROZCO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

**Riobamba – Ecuador
2011**

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Junio, 08 del 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ADONIAS PATRICIO LÓPEZ LÓPEZ

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN CALORÍMETRO DE
ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA
DE LA FACULATAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala
DIRECTOR DE TESIS

ASESOR DE TESIS

Ing. Rodrigo Díaz

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Junio, 08 del 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS ENRIQUE SALAZAR OROZCO

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN CALORÍMETRO DE
ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA
DE LA FACULATAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala
DIRECTOR DE TESIS

ASESOR DE TESIS

Ing. Rodrigo Díaz

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ADONIAS PATRICIO LÓPEZ LÓPEZ

TÍTULO DE LA TESIS:“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE LA FACULATAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: Junio, 08 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
Ing. Gilberto Zabala (Director de Tesis)			
Ing. Rodrigo Díaz (Asesor)			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS ENRIQUE SALAZAR OROZCO

TÍTULO DE LA TESIS:“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE LA FACULATAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: Junio, 08 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo A. (Presidente Trib. Defensa)			
Ing. Gilberto Zabala (Director de Tesis)			
Ing. Rodrigo Díaz (Asesor)			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) 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.

f) Adonias Patricio López López f) Luis Enrique Salazar Orozco

AGRADECIMIENTO

Ante todo a DIOS por habernos dado la vida, a nuestros padres que nos han apoyado incondicionalmente en los buenos y malos momentos; a todos los amigos que hemos hecho en el transcurso de nuestra carrera, con los cuales pasamos buenos momentos dentro y fuera de las aulas, a nuestros profesores por habernos enseñado y capacitado a lo largo de nuestra etapa como estudiantes por todo esto y más, muchas gracias a todos.

Patricio López López.

Luis Salazar Orozco.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a nuestros padres, familiares, profesores y amigos ya que siempre nos apoyaron incondicionalmente durante nuestra carrera universitaria.

Patricio López López.

Luis Salazar Orozco.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES Y OBJETIVOS
1.1	Antecedentes1
1.2	Justificación.....1
1.3	Objetivo.....2
1.3.1	Objetivo general.....2
1.3.2	Objetivos específicos.....2
2.	MARCO TEÓRICO: ANÁLISIS DEL VAPOR HÚMEDO Y LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EVALUAR LA CALIDAD. TIPOS DE GENERADORES DE VAPOR
2.1	Calidad del vapor.....3
2.1.2	Causas para una baja calidad del vapor.....3
2.1.2	Métodos para mejorar la calidad del vapor.....4
2.1.2.1	Trampas de vapor.....4
2.2.2.1.1	Las mecánicas.....5
2.1.2.1.2	Las termodinámicas.....5
2.1.2.1.3	las termoestáticas.....6
2.1.2.2	Separador de condensado.....6
2.2	Determinación de la calidad del vapor.....6
2.2.1	Calorímetro de separación.....7
2.2.1.1	Sobre su funcionamiento.....7
2.2.1.2	Sus desventajas.....8
2.2.2	Calorímetro de estrangulamiento.....8
2.2.2.1	Funcionamiento.....9
2.2.2.2	Proceso de estrangulamiento.....10
2.2.2.3	Tablas de vapor.....11
2.2.2.4	Diagrama de Mollier.....12
2.3	Generadores de vapor.....12
2.3.1	Partes de un generador de vapor.....13
2.3.1.1	Economizador.....13
2.3.1.2	Chimenea.....14
2.3.1.3	Sobrecalentador.....14
2.3.1.4	Quemador.....15
2.3.1.5	Hogar.....16
2.3.1.6	Condensador.....17
2.3.1.7	Bombas y tanques de almacenamiento.....17
2.4	Clasificación de los generadores de vapor.....18
2.4.1	Acuotubulares.....18
2.4.2	Pirotubulares.....19
2.4.3	Aplicaciones de los generadores de vapor.....20

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CALORIMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	
3.1	Selección de los ductos del equipo.....	22
3.1.1	Tuberías de vapor.....	22
3.1.2	Clasificación de los ductos.....	22
3.1.3	Normas para tuberías.....	23
3.1.4	Diseño de la tubería.....	22
3.1.4.1	Diseño de tuberías mediante la velocidad del vapor.....	23
3.1.4.2	Cálculo del diámetro de la tubería.....	24
3.1.4.2.1	Flujo másico.....	24
3.1.4.2.2	Presión de trabajo de la caldera.....	25
3.1.4.2.3	Volumen específico del vapor.....	25
3.1.5	Selección de la válvula de estrangulamiento.....	26
3.1.5.1	Válvulas industriales.....	27
3.1.5.1.1	Componentes de una válvula industrial.....	27
3.1.5.1.2	Clasificación de las válvulas industriales.....	28
3.1.5.1.2.1	Válvula de globo.....	28
3.1.5.1.2.2	Válvula de compuerta.....	29
3.1.5.1.2.3	Válvula esférica.....	30
3.1.6	Cámara de expansión.....	31
3.1.5.2	Dimensionamiento de la cámara de expansión.....	32
3.1.5.3	Diseño mecánico de la cámara de expansión.....	34
3.1.5.3.1	Cargas.....	34
3.1.5.3.2	Esfuerzos.....	35
3.1.5.3.2.1	Esfuerzos en cascos cilíndricos.....	35
3.1.5.3.3	Presión interna.....	36
3.1.5.3.3.1	Presión de operación.....	36
3.1.5.3.3.2	Presión de diseño.....	36
3.1.5.3.3.3	Máxima presión permitida de operación.....	37
3.1.5.3.3.4	Presión hidrostática.....	37
3.1.5.3.4	Valores del esfuerzo máximo.....	37
3.1.5.3.5	Eficiencia de las juntas.....	37
3.1.5.3.6	Diseño de la cámara de expansión.....	38
3.1.6	Selección del aislamiento térmico.....	41
3.1.6.1	Conducción de calor en paredes cilíndricas.....	41
3.6.2	Convección.....	43
3.1.6.2.1	Convección forzada.....	43
3.1.6.3	Conducción.....	44
3.1.6.4	Números adimensionales.....	44
3.1.6.4.1	Número de Nusselt (Nu).....	44
3.1.6.4.2	Número de Prandtl (Pr).....	45
3.1.6.4.3	Número de Reynolds (Re).....	45
3.1.6.4.4	Número de Grashof (Gr).....	46
3.1.6.5	Datos para el cálculo.....	46
3.1.6.5.1	Cálculo del aislante.....	47
3.1.6.5.1.1	Resistencias térmicas.....	47
3.1.7	Construcción de la cámara de expansión.....	56

4	CONTROL AUTOMÁTICO DE LA CALDERA	
4.1	Control automático.....	60
4.2	Control de nivel de líquido.....	60
4.2.1	Control de nivel accionado por flotador y bulbos de mercurio.....	61
4.2.2	Control de nivel de líquido operado por flotador.....	62
4.3	Control de la presión del vapor.....	62
4.3.1	Presostato.....	62
4.4	Quemador de gas.....	63
4.5	Válvula de seguridad.....	64
4.6	Válvulas de purga.....	66
4.7	Sistema eléctrico.....	67
4.7.1	Contactor.....	67
4.7.2	Rele.....	67
4.7.3	Fusibles.....	68
4.7.4	Luz piloto.....	68
4.7.5	Selector de posición.....	69
4.7.6	Accesorios de montaje.....	69
4.8	Selección de la válvula de control de nivel.....	70
4.9	Selección del quemador.....	71
4.9.1	Quemador del calefón.....	71
4.10	Funcionamiento de la caldera.....	73
5.	UTILIZACIÓN DEL LAB VIEW PARA EL CÁLCULO DE LA CALIDAD DEL VAPOR	
5.1	Introducción a Labview.....	76
5.2	Partes del Labview.....	76
5.2.1	Panel frontal.....	77
5.2.2	Diagrama de bloques.....	78
5.2.2.1	Barra de herramientas.....	79
5.2.3	Paletas de trabajo.....	80
5.2.3.1	Paleta de funciones.....	80
5.2.3.2	Paleta de controles.....	82
5.2.3.3	Paleta de herramientas.....	84
5.3	Programación en Labview.....	85
5.4	Adquisición de datos en Labview.....	85
5.5	Cálculo de la calidad del vapor.....	88

6.	ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE LABORATORIO, FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	
6.1	Guía del laboratorio de termodinámica.....	93
6.1.1	Tema: Evaluación de la calidad del vapor.....	93
6.1.1.1	Introducción.....	93
6.1.1.2	Objetivos.....	93
6.1.1.3	Equipos y materiales.....	94
6.1.1.4	Esquema.....	94
6.1.1.5	Marco teórico.....	94
6.1.1.6	Procedimiento.....	97
6.1.1.7	Cálculos y resultados.....	98
6.1.1.8	Análisis y discusión de resultados.....	99
6.1.1.9	Conclusiones y recomendaciones.....	99
6.1.1.10	Recomendaciones.....	99
6.1.2	Mantenimiento de la caldera.....	99
6.1.2.1	Tratamiento del líquido.....	99
6.1.2.2	Descripción y frecuencia del mantenimiento.....	101
6.1.2.3	Frecuencias de mantenimiento.....	102
6.1.2.3.1	Mantenimeinto diario.....	102
6.1.2.3.2	Mantenimiento semanal.....	102
6.1.2.3.3	Mantenimeinto mensual.....	102
6.1.2.3.4	Mantenimeinto trimestral.....	102
7.	ANÁLISIS ECONÓMICO.	
7.1	Generalidades.....	103
7.2	Costos directos.....	103
7.2.1	Costo de materiales.....	103
7.2.1.1	Control de nivel.....	104
7.2.1.2	Automatización de la caldera.....	105
7.2.1.3	Sistema de ductos.....	106
7.2.1.4	Cámara de expansión.....	107
7.2.1.5	Estructura metálica.....	107
7.2.2	Costo mano de obra.....	108
7.2.3	Costo equipos y herramientas.....	108
7.2.4	Costo por transporte.....	109
7.3	Costos indirectos.....	109
7.3.1	Criterio de ingeniería.....	110
7.3.2	Imprevistos.....	110
7.3.3	Utilidades.....	110
7.4	Costos totales.....	110

8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones.....	111
8.2	Recomendaciones.....	112

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	Cálculo de la velocidad en el ducto de vapor.....	26
3.2	Diámetro de la cámara de expansión.....	33
3.3	Longitud de la cámara de expansión.....	34
3.4	Hoja de cálculo para pérdidas de calor ductos.....	52
3.5	Iteraciones espesor de aislante.....	53
3.6	Hoja de cálculo pérdidas de calor cámara de expansión.....	55
3.7	Espesor del aislante en la cámara de expansión.....	56
6.1	Datos de la caldera.....	98
7.1	Control de nivel.....	104
7.2	Control automático.....	105
7.3	Sistema de ductos.....	106
7.4	Cámara de expansión.....	107
7.5	Estructura.....	107
7.6	Mano de obra.....	108
7.7	Equipos y herramientas.....	108
7.8	Transporte.....	109
7.9	Costos directos.....	109
7.10	Costos indirectos.....	110
7.11	Costos totales.....	110

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Condensado en tubería de vapor.....	4
2.2	Trampa de vapor tipo flotador.....	5
2.3	Separador de condensado.....	6
2.4	Calorímetro de separación.....	7
2.5	Calorímetro de estrangulamiento.....	9
2.6	Diagrama temperatura - entalpía.....	12
2.7	Economizador.....	14
2.8	Chimenea.....	14
2.9	Sobre calentador.....	15
2.10	Quemador.....	16
2.11	Hogar.....	16
2.12	Condensador.....	17
2.13	Bombas.....	18
2.14	Caldera Acuotubular.....	19
2.15	Caldera Pirotubular.....	20
3.1	Válvulas.....	27
3.2	Válvula de globo.....	29
3.3	Válvula de compuerta.....	30
3.4	Válvula esférica.....	31
3.5	Cámara de expansión.....	31
3.6	Espesor casco cilíndrico.....	38
3.7	Espesor casco elipsoidal.....	39
3.8	Cabeza elipsoidal.....	41
3.9	Paredes cilíndricas con aislante.....	42
3.10	Radio del aislante - pérdidas de calor tubería.....	54
3.11	Radio del aislante - pérdidas de calor cámara.....	57
3.12	Tubo 5 [in].....	57
3.13	Tapas cámara.....	58
3.14	Cámara de expansión sin aislante.....	58
3.15	Instrumentos cámara de expansión.....	59
3.16	Montaje tubería.....	59
4.1	Tablero de control.....	60
4.2	McDonnell & Millar ITT. 150.....	61
4.3	McDonnell & Millar 64.....	62
4.4	Presóstato.....	63
4.5	Quemador a gas.....	64
4.6	Válvula de seguridad.....	65
4.7	Válvula de purga.....	66
4.8	Contactador GMC-12.....	67
4.9	Rele.....	68
4.10	Fusibles.....	68
4.11	Luces piloto.....	69

4.13	Accesorios de montaje.....	70
4.14	Borneras.....	70
4.15	Instalación de McDonnell.....	71
4.16	Esquema calefón.....	72
4.17	Quemador calefón.....	72
4.18	Tablero de control.....	73
4.19	Circuito de control.....	74
4.20	Quemador de la caldera.....	74
5.1	Panel frontal.....	77
5.2	Diagrama de bloques.....	78
5.3	Botones para ejecución del programa.....	79
5.4	Botones para depuración.....	79
5.5	Formato de texto.....	79
5.6	Botones para ordenar objetos.....	80
5.7	Icono del VI.....	80
5.8	Paleta de funciones.....	81
5.9	Paleta de controles.....	83
5.10	Paleta de herramientas.....	84
5.11	NI USB 6216.....	86
5.12	NI USB 6009.....	86
5.13	Programa para determinar la calidad del vapor.....	88
5.14	Tabla de ingreso de datos.....	89
5.15	Instrumentos.....	89
5.16	Presión absoluta de la caldera.....	90
5.17	Tabla de datos de entalpia de la caldera.....	90
5.18	Tabla entalpia vapor recalentado.....	91
5.19	Calidad del vapor.....	92
5.20	Diagrama de bloques del programa.....	92
6.1	Disgrama S-T.....	95
6.2	Esquema del calorimetro de estrangulamiento.....	96
6.3	Válvula de purga de la caldera.....	100
6.4	Incrustaciones en tubos de fuego.....	100

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

A	Área
ASA	Asociación Americana de Normas.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
ASTM	Sociedad Americana de Ensayo de Materiales.
AWWA	Asociación Americana de Obras Hidráulicas.
C.A.	Margen de corrosión.
cm.	Centímetros
C_p	Calor específico
k	Coefficiente de conductividad térmica.
D	Diámetro
DAQ	Data adquisición
D_i	Diámetro interno de la cabeza elipsoidal [in].
E	Eficiencia de la junta.
GLP	Gas licuado de propano
Gr	Número de Grashof
h	Altura de cabeza elipsoidal.
h_0	Coefficiente de transferencia de calor por convección
h_2	Entalpía total del vapor recalentado
h_f	Entalpía del líquido.
h_{fg}	Entalpía de vaporización del vapor saturado seco.
in.	Pulgada
Kg	kilogramo
Kcal.	Kilo caloría.

L	Longitud de la cámara
L_c	Longitud característica.
m.	Metros
mm.	Milímetros
m_{ds}	Masa del vapor seco
m_m	Masa de la humedad separada del vapor seco.
\dot{m}	Flujo másico del vapor
Nu	Número de Nusselt
Pr	Número de Prandtl
PSI	libra por cada pulgada cuadrada
$P_{trabajo}$	Presión de trabajo absoluta
P_m	Presión manométrica
P_d	Presión de diseño
q	Pérdida de calor.
q_{sh}	El calor sensible del vapor recalentado
r	Radio
R	Resistencia térmica
R_a	Número de Rayleigh.
Re	Número de Reynolds
S	Esfuerzo del material
S_1	Esfuerzo longitudinal
S_2	Esfuerzo circunferencial
t	Espesor

t_c	Espesor cabeza elipsoidal
T_f	Temperatura fílmica
T_i	Temperatura del vapor
T_0	Temperatura ambiente
T_2	Temperatura superficie del ducto
V	Volumen total
\bar{V}	Velocidad del vapor
VI	Instrumentos Virtuales
x	Calidad del vapor, expresada en fracción decimal.
ΔT	Gradiente de temperatura
ρ	Densidad
μ	Viscosidad dinámica

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO 1: Propiedades de los materiales.

ANEXO 2: Tipos de juntas soldadas.

ANEXO 3: Propiedades de los materiales, aplicación.

ANEXO 4: Propiedades de los gases.

ANEXO 5: Tubería de acero al carbono.

ANEXO 6: Quemador del calefón.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el diseño de un equipo para evaluar la calidad del vapor en una caldera, el cual se fundamenta en la expansión adiabática irreversible.

Se diseña y se selecciona los elementos del calorímetro de estrangulación, tales como sistemas de ductos, válvula de estrangulamiento, aislante térmico, cámara de expansión, donde se evalúa la temperatura y presión, para con estos datos mediante las tablas de vapor o diagrama de Mollier evaluar su calidad.

Al existir en el laboratorio una caldera se procede a su automatización, tomando en cuenta los parámetros a controlar tales como, el control de nivel mediante el McDonnell y la bomba de alimentación, el control de la presión de trabajo con ayuda de un presóstato y la válvula de seguridad. El control de llama es uno de los parámetros más delicados en una caldera, por lo que se debe garantizar la presencia de la misma, para lo cual, se selecciona el sistema de control del calefón por tener un sistema parecido con las calderas industriales.

Los datos obtenidos en las pruebas, se transmiten desde los sensores a una PC, a través del desarrollo de un programa en Labview, con el cual se obtendrá la calidad en forma directa.

Finalmente se elabora una guía de laboratorio. Con esta guía el estudiante esta en capacidad de manipular el equipo y realizar prácticas de evaluación del vapor húmedo.

SUMMARY

This work consists of the equipment design to evaluate the steam quality in a boiler based on the irreversible adiabatic expansion. The stranguation calorimeter elements such as the duct system, the stranguation valve, the thermal isolator, the expansion chamber where temperature and pressure are evaluated, are designed to, from these data through steam tables and Mollier diagram, evaluate its quality. With the existing boiler its automation is carried out, taking into account the parameters to be controlled such as, the level control through the McDonnell and the feeding pump, the control of the work pressure with the help of a presostate and the security valve. The flame control is one of the most delicate one in a boiler; this is why its presence must be guaranteed; for this the control system of a hot water system is selected because it has a system which is similar to the industrial boilers. The test data are transmitted from the sensors to a PC through the development of a program in Labview with which the quality will be obtained directly. Finally, a lab guide is elaborated. With this guide the student is able to handle the equipment and carry out humid steam evaluation practices.



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes.

El presente Trabajo de Tesis de Grado, determinado a diseño y construcción de un calorímetro de estrangulamiento, ha sido convenido para aportar al mejoramiento del Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica, de sus servicios y prestaciones que viabiliza, para respectivamente ejecutarlos en condiciones de calidad y precisión: pruebas y experimentos que consoliden apropiadamente el desarrollo correlativo de los conocimientos teóricos impartidos.

El calorímetro diseñado y construido, consiste en un dispositivo técnico, equipado para establecer la calidad del vapor húmedo producido, a su vez, por un generador de vapor o caldera.

1.2. Justificación.

Mientras, técnicamente la calidad del vapor es un valor a determinar, es el calorímetro, objeto de la Tesis de Grado ejecutada, el dispositivo justificado para establecer los respectivos parámetros que conllevan a la evaluación de esta. Se debe, además, destacar que existen en general varios métodos de medición de la denominada calidad; pero ninguno que se considere simplificado.

El calorímetro de estrangulamiento desarrollado, se fundamenta en la expansión adiabática irreversible del vapor, la misma que ocurre sin realizar trabajo externo; por lo

que la energía del vapor (entalpía) se recupera al final del proceso. Las pérdidas de calor por convección deben reducirse al mínimo; para esto, los ductos que transportan el vapor deben estar aislados térmicamente.

Debido a los altos costos de adquisición del equipo en el mercado y, a su gran utilidad para el Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica, fue como se planteó la realización de esta Tesis de Grado.

1.3. *Objetivos.*

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un calorímetro de estrangulamiento, para el laboratorio de Termodinámica, de Ingeniería Mecánica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el marco teórico sobre la calidad del vapor y generadores de vapor.
- Analizar los diferentes métodos para la determinación de la calidad del vapor.
- Diseñar, calcular y construir los diferentes elementos del calorímetro de estrangulamiento.
- Automatizar de la caldera.
- Utilizar el programa LABVIEW para el cálculo de la calidad del vapor.
- Elaborar una guía de funcionamiento del equipo.
- Evaluar costos de construcción del equipo. .

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO: ANÁLISIS DEL VAPOR HÚMEDO Y LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EVALUAR LA CALIDAD. TIPOS DE GENERADORES DE VAPOR.

2.1 Calidad del vapor [1].

La región de saturación se puede considerar como una mezcla de un líquido saturado puro y un vapor saturado puro. La proporción de vapor saturado, o sea la relación de la masa de vapor saturado con respecto a la masa total de una mezcla determinada en la región saturada, se llama calidad.

Los efectos de una baja calidad son particularmente devastadores para procesos que tienen contacto directo con el vapor, tales como plantas de alimentos, hule y textiles. El condensado que se produce se adhiere a la superficie del producto, pudiendo éste resultar con muchos defectos.

En los intercambiadores de calor, son ejemplos típicos del uso indirecto del vapor, en tanto que su baja calidad disminuye la eficiencia en la transferencia de calor; lo cual, a su vez, redundará en una caída de la productividad.

Otro de los inconvenientes, es el condensado arrastrado por el vapor, el cual provoca fallas en dispositivos, tales como válvulas reductoras de presión, válvulas de control, medidores de flujo y ductos.

2.1.1. Causas para una baja calidad del vapor [2].

Existen dos causas principales para que la calidad del vapor disminuya, éstas son:

- **Baja calidad dentro de la caldera:** Esto es usualmente el resultado de fluctuaciones bruscas en la carga, causando que el líquido en la caldera quede atrapado y transportado con el vapor.
- **Condensado:** Éste, que no es completamente removido de los ductos de vapor; y que se produce por un mal aislamiento térmico.

Por lo tanto, la calidad o título del vapor es un parámetro muy importante a determinar para un correcto funcionamiento de un generador de vapor.

2.1.2. Métodos para mejorar la calidad del vapor.

Como se mencionó anteriormente, una de las principales causas de una baja calidad del vapor es el condensado que se produce en los ductos de vapor; el mismo que se genera debido al gradiente térmico existente entre sus paredes interiores en contacto con el vapor. El aislamiento térmico en las líneas de vapor es de gran ayuda para evitar que se forme el condensado; pero, a pesar de la utilización del mismo, se seguirá produciendo dicho condensado, en una cantidad que debe eliminarse.

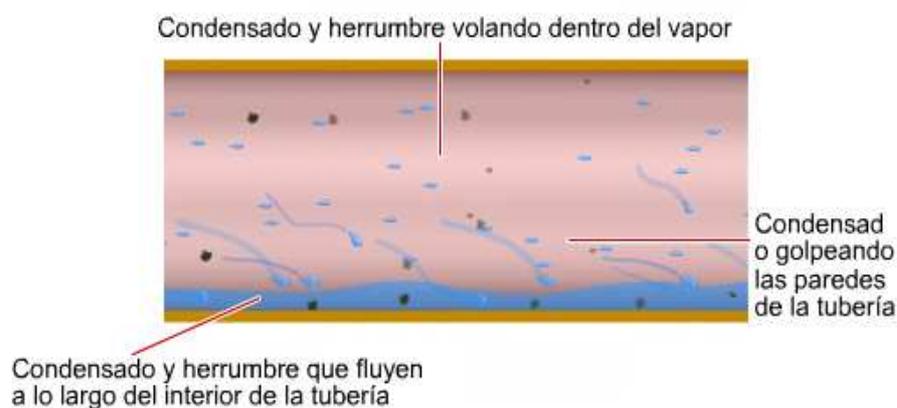


Figura 2.1: Condensado en tubería de vapor[2].

Existen equipos para disminuir el condensado en los ductos, tales como: las trampas de vapor, y los separadores de condensado.

2.1.2.1. Trampas de vapor [3].

Es una válvula automática cuya misión es minimizar el condensado de los ductos de vapor; además, de prevenir pérdidas de vapor.

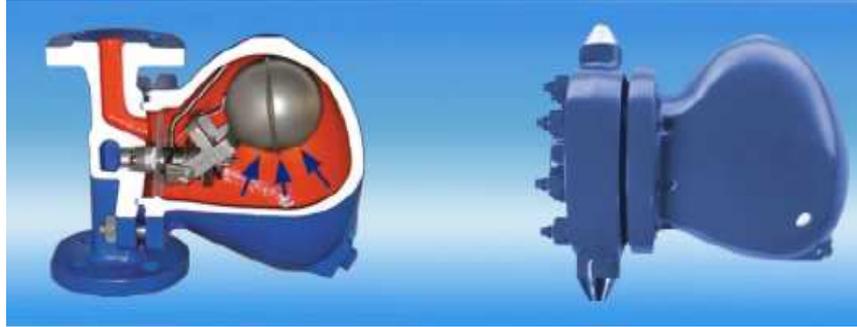


Figura 2.2: Trampa de vapor tipo flotador [3].

Son algunos los parámetros para poder seleccionar una trampa de vapor, así:

- Presión nominal del vapor.
- Caudal de condensado.
- Diferencial de presión.
- Tipo de conexión.
- Tipo de material.

Como tipos de trampas de vapor, se dispone de:

- Mecánicas.
- Termodinámicas.
- Termostáticas.

2.1.2.1.1. Las mecánicas.

Que trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado y tienen un flotador, el cual se abre para descargar el condensado que se ha acumulado.

Cuando está cerrada dicha trampa, comienza nuevamente el ciclo llenándose de vapor para luego descargar el condensado.

2.1.2.1.2. Las termodinámicas.

Éstas, operan por el principio de diferencia entre el flujo de vapor y del condensado. Al entrar el vapor, éste llega con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula, se

cierra; entonces, este disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado para desalojarlo.

2.1.2.1.3 Las termostáticas.

Que funcionan mediante un sensor de temperatura, el cual mide la variación de ésta entre el vapor y el condensado. La trampa respectiva se abre, al llegar a un valor específico de temperatura para drenar el condensado.

2.1.2.2. Separador de condensado.

Los separadores de condensado, retiran las pequeñas gotas de líquido que circulan junto con el vapor o aire comprimido en forma de niebla en las líneas de distribución. Se recomienda su instalación antes de válvulas de control para evitar la erosión de su asiento y vástago o en equipos que requieran vapor seco.

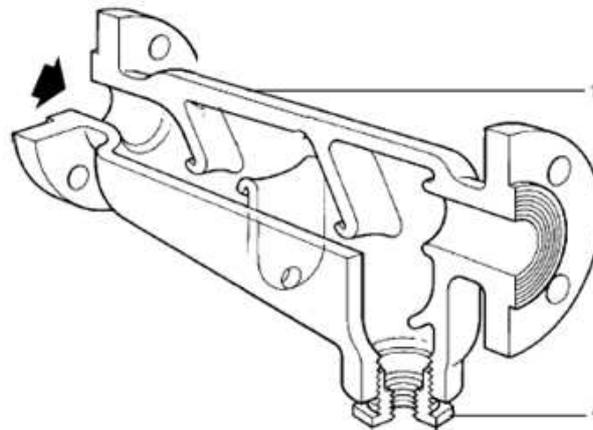


Figura 2.3: Separador de condensado [3].

2.2 Determinación de la calidad del vapor.

La calidad, no se puede determinar en forma directa. Hay varios métodos para establecerla; sin embargo, no existe ninguno que pueda considerarse simple. Para tal objeto, se utiliza calorímetros especiales. Siendo los más comunes, los siguientes:

- Calorímetro de separación.
- Calorímetro de estrangulación.

2.2.1 Calorímetro de separación.

Es, el que puede considerársele como el más simple; pues, se basa en separar el líquido del vapor húmedo que entra en el aparato. En este caso, es necesario medir la masa del líquido y la masa del vapor seco que sale del calorímetro luego de ser condensada. Los calorímetros del tipo de separación, se utilizan para determinar el título de vapores muy húmedos y de baja presión.



Figura 2.4: Calorímetro de separación.

2.2.1.1 Sobre su funcionamiento.

El calorímetro de separación antes indicado, se aplica en el proceso de flujo que permite cambiar la dirección del vapor húmedo de entrada a través de una serie de ángulos obtusos. Mientras el vapor viaja a través de estos ángulos, por gravedad las gotas de líquido generadas, son impedidas de seguir los cambios en dirección del vapor; provocándose, por tanto, la caída del condensado dentro de la cámara de colección.

Para calcular la calidad, la tasa de flujo en masa de vapor se divide entre las tasas de flujo en masa de las corrientes de líquido y vapor. Si la unidad generadora de vapor opera

bajo condiciones de flujo continuo, como generalmente lo hace, la calidad, puede hallarse dividiendo la tasa de vapor en el separador por la tasa de líquido entrante.

La expresión del título en forma de fracción decimal resultante, es:

$$x = \frac{m_{ds}}{m_{ds} + m_m} \quad (2.1)$$

En donde:

m_{ds} = Peso del vapor seco que pasa por el calorímetro, en Kg.

m_m = Peso de la humedad separada de m_{ds} de kg del vapor seco, en Kg.

X = Calidad del vapor.

2.2.1.2. Sus desventajas.

Los calorímetros separadores no pueden separar todo el líquido; y, un poco se va en el vapor seco.

Se utiliza, entonces, el tipo de calorímetro descrito; de separación, para determinar grandes contenidos de líquido hasta $x=0,5$.

2.2.2. Calorímetro de estrangulamiento.

Éste, es un instrumento que permite medir la calidad del vapor en forma indirecta; si el vapor se estrangula y a continuación se expansiona sin realizar trabajo o sin pérdida de calor, la energía total del vapor permanece invariable. Las pérdidas por radiación deben reducirse al mínimo y, para ello, el calorímetro y los ductos de vapor deben estar completamente aislados térmicamente.

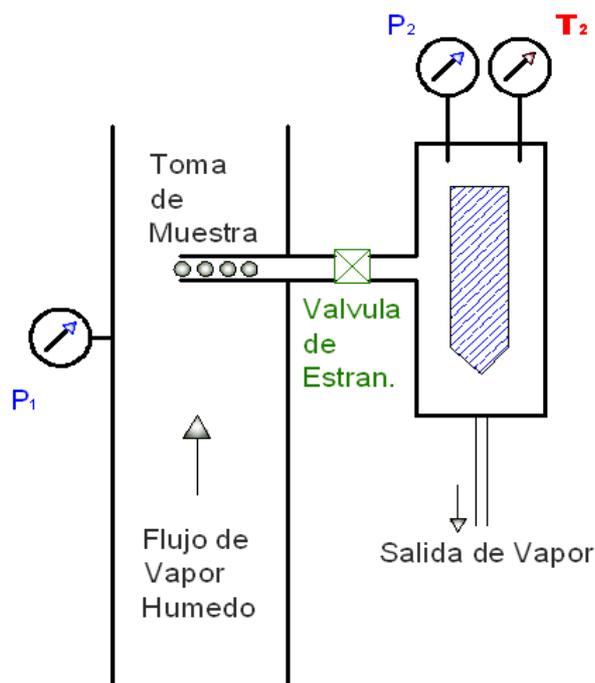


Figura 2.5: Calorímetro de estrangulamiento.

2.2.2.1. Funcionamiento.

Aquí, mientras el vapor entra por la tobera de toma de muestras, éste se estrangula al pasar por la válvula situada a la entrada del calorímetro. A continuación entra el vapor a la cámara de expansión, escapando finalmente el mismo a la atmosfera.

Cuando el vapor pasa por la válvula de estrangulamiento, la entalpia disminuye y la energía cinética aumenta; pero, luego al entrar en la cámara de expansión la energía cinética es disipada y la entalpia inicial es obtenida nuevamente sin realizar trabajo; por lo tanto la entalpia es la misma antes y después del estrangulamiento.

El calorímetro mencionado, funciona propiciado por el respectivo proceso adiabático; ya que no debe existir transferencia de calor con el medio que lo rodea, para que los valores de la calidad sean confiables; por lo tanto el calorímetro y los ductos de muestra de vapor, deben estar completamente aislados térmicamente.

El calorímetro de estrangulamiento se utiliza para contenidos de humedad bajos, aproximadamente entre $x=0,95$ y $x=1,0$

2.2.2.2. Proceso de estrangulamiento.

Es un proceso, en el cual el fluido se expande sin producirse trabajo a entalpía constante, que obedece a la ecuación denominada “Expansión de Joule-Thompson”: $h_1 = h_2$. Éste proceso, se realiza mediante válvulas que estrangulan el vapor, determinado que éste adquiera una velocidad alta.

Puede establecerse la relación siguiente: la entalpía total del vapor saturado húmedo antes de la expansión $h_1 = (h_f + xh_{fg})$ es igual a la entalpía total h_2 del vapor recalentado después de la expansión.

Por lo tanto:

$$h_1 = (h_f + xh_{fg}) = h_2 \quad (2.2)$$

Despejando la calidad se tiene:

$$x = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} \quad (2.3)$$

Dónde:

x = calidad del vapor, expresada en fracción decimal.

h_2 = entalpía total del vapor recalentado a la presión absoluta del calorímetro, en kcal por Kg.

h_f = entalpía del líquido a la presión inicial, en kcal por Kg.

h_{fg} = entalpía de vaporización del vapor saturado seco a la presión absoluta inicial en kcal por Kg.

Los valores de h_f y h_{fg} , son obtenidos de las tablas respectivas de vapor, en función de la presión absoluta de la caldera; mientras que el valor de la entalpía h_2 se lo obtiene con los datos de presión absoluta y temperatura en la cámara de expansión, luego del estrangulamiento.

Se puede determinar las entalpías utilizando las tablas de vapor o el diagrama de Mollier.

También es estimable el valor de la entalpía h_2 mediante el empleo del calor específico del vapor a presión constante. Para recalentar el vapor desde el punto de saturación, se requiere un calor q_{sh} . En este caso, se debe considerar al vapor recalentado

como un gas ideal; por lo tanto el calor requerido para recalentarlo a presión constante, resulta de la ecuación siguiente:

$$q_{sh} = C_p \Delta T \quad (2.4)$$

En donde:

q_{sh} : *El calor sensible del vapor recalentado*

C_p : *Calor específico del vapor recalentado* $c_p = 0,48 \frac{Btu}{lb^\circ F} = \frac{Kcal}{kg^\circ C}$

ΔT : *Es el gradiente de temperatura entre el punto de saturación y la temperatura de recalentamiento del vapor.*

En unidades de masa se tiene:

$$q_{sh} = h_2 - h_{g2} = C_p \Delta T$$

$$h_2 = h_{g2} + 0,48\Delta T \quad (2.5)$$

2.2.2.3. Tablas de vapor [5].

Las tablas de vapor, son guías donde se tabulan diferentes propiedades del líquido y vapor. Entre algunas de las propiedades que se incluyen en dichas tablas, se encuentran: la temperatura de ebullición del líquido a una presión específica, el volumen específico y las entalpías de vaporización.

En las tablas de vapor podemos encontrar cinco zonas importantes; estas son:

- **Zona de líquido sub-enfriada:** A cualquier presión, el líquido por debajo de su punto de saturación se dice que está en un estado sub-enfriada.
- **Línea de líquido saturado:** Muestra su temperatura de saturación y, representa las propiedades finitas relacionadas sólo con la condición de saturación del líquido.

- **Zona de vapor húmedo:** también conocida como la zona de dos fases, representa todos los valores del vapor en su condición de húmedo. Sus límites son: la línea de líquido saturado y la línea del vapor saturado.
- **Línea de vapor saturado seco:** La línea de vapor seco saturado muestra el vapor a su temperatura de saturación, y representa las propiedades finitas relacionadas únicamente con las condiciones de vapor seco saturado.
- **Zona de vapor recalentado:** Que representa el vapor a una temperatura superior a su temperatura de saturación. Si se calienta el vapor saturado a una presión constante, se producirá vapor recalentado.

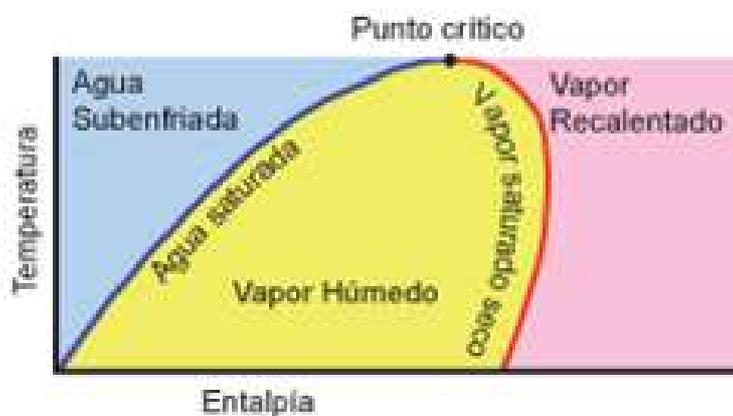


Figura 2.6: Diagrama temperatura – entalpía [5].

2.2.2.4. Diagrama de Mollier.

El diagrama de Mollier, es una gráfica en la cual están representadas las propiedades de un fluido, en la que la entalpía constituye una de las coordenadas; además, de contener las líneas correspondientes al líquido y vapor saturados, el diagrama posee trazos para representar: la presión, la temperatura, entropía, volumen específico y, la calidad del fluido.

2.3. Generadores de vapor [6].

Las calderas o generadores de vapor, son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el líquido para aplicaciones en la producción.

Funcionan, mediante la transferencia de calor producida generalmente al quemarse un combustible; mientras el líquido contenido circule dentro de un recipiente metálico. En toda caldera se distinguen dos zonas importantes, las cuales son:

- **Zona de liberación de calor o cámara de combustión:** que es el lugar, donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior, con respecto al recipiente metálico.
 - ✓ **Interior:** cuando la cámara de combustión se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por líquido.
 - ✓ **Exterior:** si la cámara de combustión es constituida fuera del recipiente metálico. Ésta, se halla parcialmente recubierta o sin paredes refrigeradas por líquido.
- **Zona de tubos:** es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al líquido, principalmente, por convección (gases – líquido); y dispuesta, a su vez, por tubos, dentro de los cuales pueden circular los humos o el líquido.

2.3.1. Partes de un generador de vapor.

Las principales partes que componen un generador de vapor, son las siguientes:

- Economizador
- Chimenea.
- Sobre calentador.
- Quemador.
- Hogar
- Condensadores.
- Bombas y tanques de alimentación.

2.3.1.1. Economizador

Es un dispositivo mecánico de transferencia de calor, que calienta un fluido hasta su punto de ebullición; sin pasar de éste, recupera el calor sensible de los gases de salida de una caldera, propiciando incremento de la temperatura del líquido de alimentación de la caldera mencionada. Aprovechando el calor remanente de los gases de combustión, se reduce drásticamente los costos de combustible, recuperando calor, y mejorando el rendimiento de la caldera.

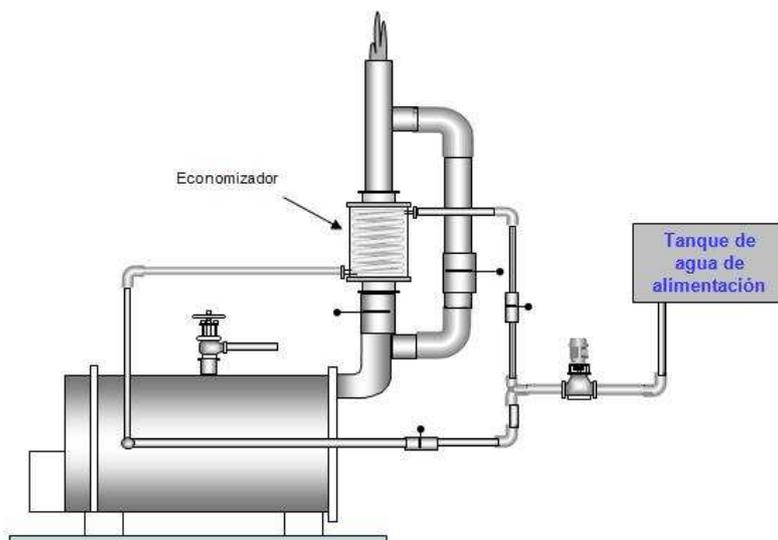


Figura 2.7: Economizador [6].

2.3.1.2. Chimenea

Determinada a suministrar una vía de escape para los productos de la combustión y el calor residual hacia la atmósfera; a través de ella se produce la mayor pérdida de calor.

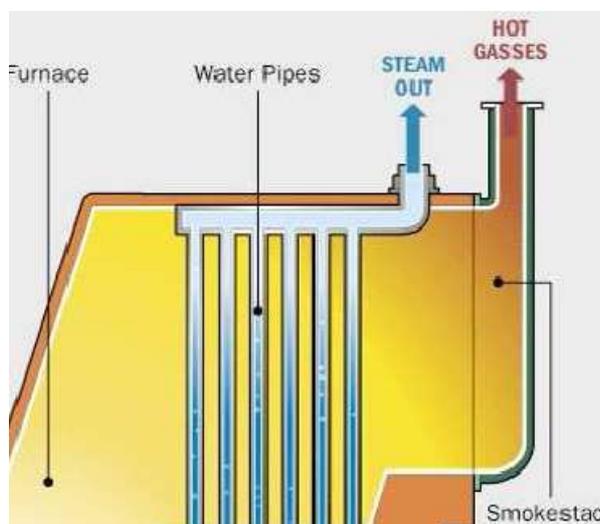


Figura 2.8: Chimenea [6].

2.3.1.3. Sobre calentador.

Siendo un dispositivo vaporizador, es básicamente un intercambiador de calor gases-vapor, diseñado tomando en cuenta las particularidades de su trabajo con gases de combustión. El mismo, además, persigue la obtención de vapor a alta temperatura, que no sufra problemas de condensación en su camino desde la caldera hasta su utilización final.



Figura 2.9: Sobre calentador [16].

2.3.1.4. Quemador [13].

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

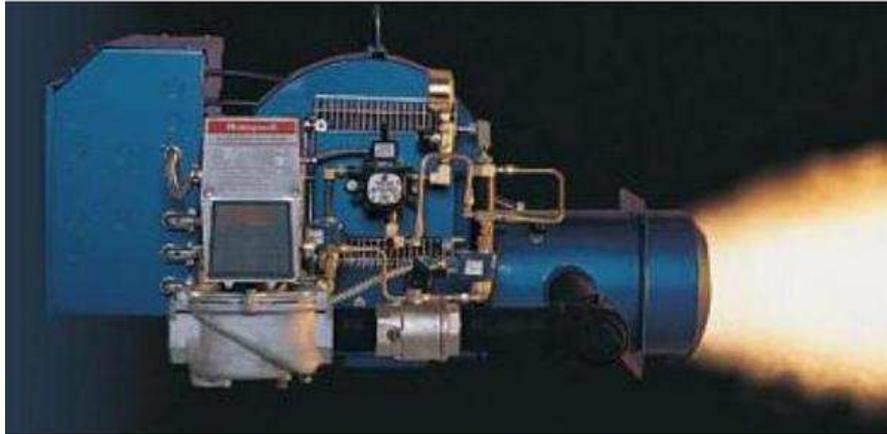


Figura 2.10: Quemador [13].

2.3.1.5. Hogar.

Es la cámara, donde se efectúa la combustión; confina el producto de la combustión y puede resistir las altas temperaturas que se presentan y las presiones que se utilizan. Sus dimensiones y geometría, se adaptan a: la velocidad de liberación del calor, el tipo de combustible y al método de combustión; de tal manera, que se haga lo posible por tener una combustión completa y se proporcione un medio apropiado para eliminar la ceniza.

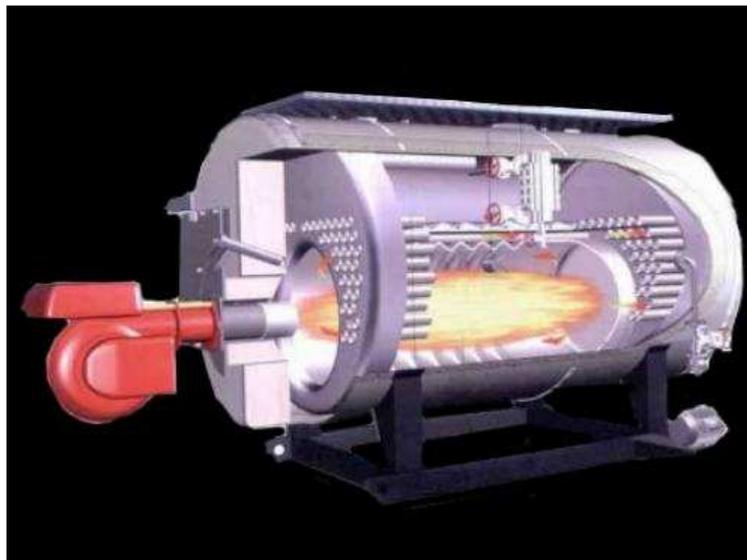


Figura 2.11: Hogar.

2.3.1.6. Condensador.

Es, un intercambiador de calor entre fluidos; de modo que. Mientras uno de ellos se enfría, pasando de estado gaseoso a estado líquido, el otro se calienta. Se fabrica en tamaños y disposiciones diversas, para ser empleados en numerosos procesos térmicos.

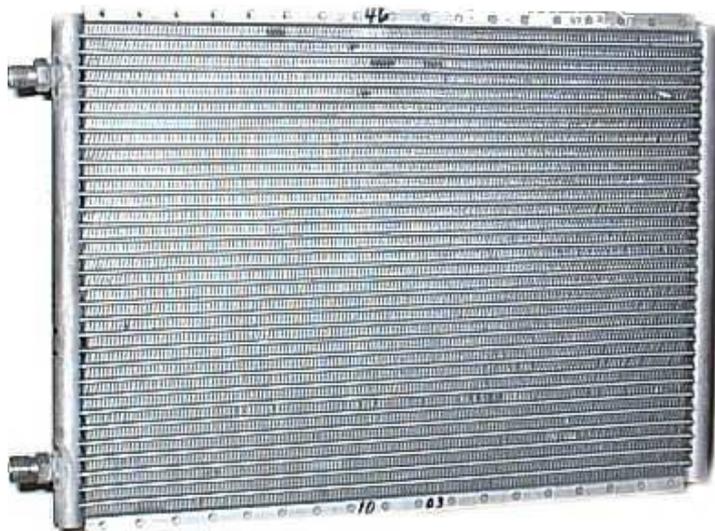


Figura 2.12: Condensador.

2.3.1.7. Bombas y tanques de almacenamiento.

Están diseñadas para suministrar líquido a las calderas. El líquido mencionado, se puede proveer directamente del tanque de almacenamiento o del condensado producido por la caldera. Estas bombas son normalmente de alta presión; las calderas al disponer de un controlador de nivel, activan dichas bombas de alimentación. Tanto los tanques atmosféricos como los presurizados pueden ser de acero negro o de acero inoxidable.



Figura 2.13: Bombas.

2.4. Clasificación de los generadores de vapor [6].

Los generadores de vapor pueden ser clasificados de varias maneras: de acuerdo a su presión de trabajo, a su producción de vapor, al combustible utilizado y, a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera. Pero, en su forma más general, los generadores de vapor se clasifican en los tipos siguientes:

- Acuotubulares.
- Piro-tubulares.

2.4.1. Acuotubulares.

Son aquellos, en los que el fluido de trabajo se desplaza a través de tubos durante su calentamiento. Son generadores de alta eficiencia, pero de elevado costo; deben alimentarse con líquido de gran pureza; pueden ser puestos en marcha rápidamente; trabajan a alta presión y temperatura; tienen una gran capacidad de generación de vapor. Además, pueden estar dotados de otros elementos de intercambio de calor como: sobrecalentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar, configurado por ductos para líquido, tubos y refractarios o, solamente refractarios. En el mismo, se produce la combustión constituyendo la zona de radiación de la caldera.

Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión, son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado, a su vez, por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

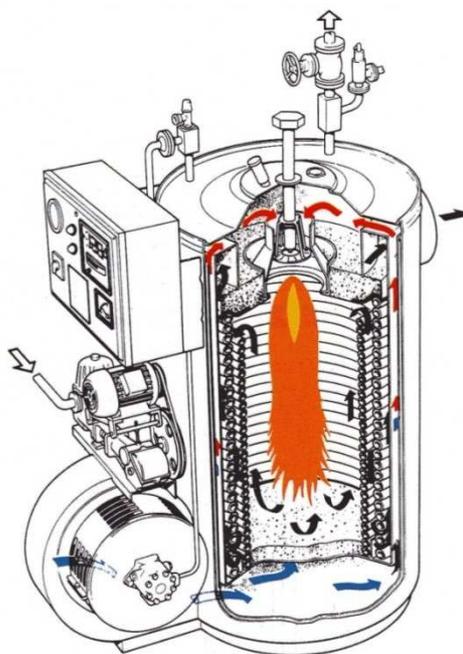


Figura 2.14: Caldera Acuotubular [6].

2.4.2. Pirotubulares.

En este tipo, el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto del respectivo proceso de combustión. El líquido se evapora al contacto con los tubos calientes, a consecuencia de la circulación de los gases de combustión.

Son calderas muy simples en su diseño; pues, no exigen mucha pureza en el líquido de alimentación; son de bajo costo, aunque de gran tamaño y peso; y necesitan mayor

tiempo que las acuotubulares para entrar en funcionamiento. Pero, como advertencia: no se las puede emplear en altas presiones.

El combustible se quema en el hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación; los gases resultantes circulan a través de los tubos, que constituyen el haz tubular de la caldera y, donde se efectúa el intercambio de calor por conducción y convección. Según sean una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se dispone de calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de éstos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos; algo que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

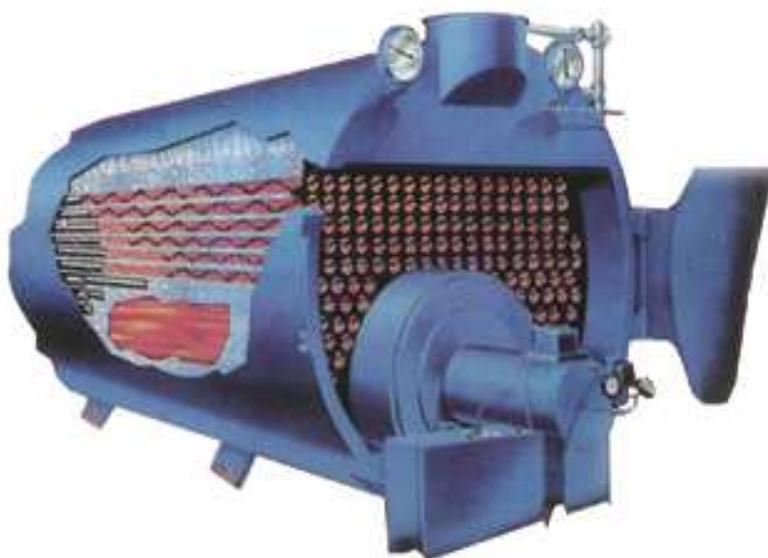


Figura 2.15: Caldera Pirotubular.

2.4.3. Aplicaciones de los generadores de vapor.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, las calderas son muy utilizadas en la industria; entre sus aplicaciones se puede indicar las siguientes:

- **Enesterilización**, pues es común encontrarlos en hospitales, donde se utiliza vapor para esterilizar instrumentos médicos; también, en los comedores industriales, generar vapor, útil en esterilizar cubiertos; así como para la elaboración de alimentos en marmitas.
- **Para calentar otros fluidos**; por ejemplo, en la industria petrolera si se calienta petróleos pesados para mejorar su fluidez: el vapor es muy utilizado.
- En la generación de electricidad. Las calderas son componentes fundamentales de las centrales termoeléctricas. Aquí, entonces el uso de vapor, es clave.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO.

3.1 Selección de los ductos del equipo.

3.1.1 Tuberías de vapor. [7]

Los sistemas de vapor son vías de transporte de energía, existen pérdidas de carga en las tuberías debido a la fricción entre sus paredes y el vapor, así como pérdidas de calor debido a la transferencia del vapor con el medio que lo rodea.

Para que un sistema de tuberías funcione eficientemente, las pérdidas de carga y de calor deben ser las mínimas, de manera que se pueda obtener datos de presión y temperatura más confiables.

Una elevada velocidad del vapor ocasiona pérdidas de carga, erosión y desgaste en la tubería, por otra parte una tubería sobre diseñada no tendrá problemas de pérdida de carga y suministrará la cantidad de vapor requerido.

3.1.2 Clasificación de las tuberías.

Los sistemas de tuberías se pueden clasificar de la siguiente manera:

Por las condiciones de servicio.

- Tuberías para vapor saturado o recalentado.
- Tuberías para agua condensada, de alimentación, fría o caliente.
- Tuberías para aceite lubricante, combustible.
- Tuberías para aire comprimido.
- Tuberías para fluidos refrigerantes.
- Tuberías para calefacción.
- Tuberías para petróleo.

Por el fluido que transportan.

- Vapor.
- Agua caliente, fría.
- Aceite.
- Aire.
- Gas.

3.1.3 Normas para tuberías.

Las normas internacionales que regulan el dimensionamiento de las tuberías así como de sus accesorios y materiales, son las siguientes.

ASTM: Sociedad Americana de Ensayo de Materiales.

ASA: Asociación Americana de Normas.

ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

AWWA: Asociación Americana de Obras Hidráulicas.

3.1.4 Diseño de la tubería.

El diseño de tuberías se puede realizar siguiendo dos métodos:

- Mediante la velocidad del vapor y.
- Por las pérdidas de carga.

3.1.4.1 Diseño de tuberías mediante la velocidad del vapor.

Es un diseño aplicado en tramos cortos, con un máximo de $20m$, con esta longitud no se consideran grandes pérdidas de carga, las velocidades recomendadas del vapor son las siguientes:

- Vapor saturado: de 20 a 30 m/s.
- Vapor recalentado: de 30 a 40 m/s.

En tramos cortos de tubería se recomienda una velocidad del vapor de 10 m/s con el fin de evitar pérdidas de carga.

3.1.4.2 Cálculo del diámetro de la tubería.

Para calcular el diámetro de la tubería, se utiliza la ecuación de continuidad:

$$\dot{m} = \rho \bar{V} A \quad (3.1)$$

Dónde:

\dot{m} : Flujo másico del vapor

ρ : Densidad

\bar{V} : Velocidad del vapor

A : Área

Para el cálculo de la tubería de vapor del calorímetro de estrangulamiento se cuenta con los siguientes datos:

3.1.4.2.1 Flujo másico.

Se utiliza un flujo de vapor de:

$$\dot{m} = 15 \left[\frac{kg}{h} \right] = 0,00417 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

3.1.4.2.2 Presión de trabajo del caldero.

La presión de trabajo del caldero es 45 [psig], cuyo valor se justificará en el siguiente capítulo; presión local.

$$P_{atm} = 10,55 \text{ [psi]}, \text{ presión atmosférica en Riobamba.}$$

La presión absoluta de trabajo será entonces:

$$P_{trabajo} = P_m + P_{atm} \quad (3.2)$$

$$P_{trabajo} = 45 + 10,55$$

$$P_{trabajo} = 55,55 \text{ [psia]}$$

Siendo:

$P_{trabajo}$: Presión de trabajo absoluta

P_m : Presión manométrica

3.1.4.2.3 Volumen específico del vapor.

Con $P_{trabajo} = 55,55 \text{ psia}$, en las tablas de vapor se determina el volumen específico del vapor.

$$v = 7,7149 \left[\frac{ft^3}{lb} \right] = 0,4817 \left[\frac{m^3}{Kg} \right]$$

Se tiene que:

$$\rho = \frac{1}{v} \quad (3.3)$$

$$\rho = 2,076 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (3.4)$$

Para un ducto de $\frac{1}{4}$ in cedula 40, se calcula la velocidad:

$$\bar{V} = \frac{0,00417}{2,076(0,6647)}$$

$$\bar{V} = 30,211 \left[\frac{m}{s} \right]$$

A través de una hoja de cálculo (EXCEL), se obtiene diferentes velocidades, para distintos ductos cédula 40.

Tabla 3.1: CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL DUCTO DE VAPOR.

Flujo Vapor	15				
presión	55,55				
diametro nominal	Flujo Vapor	Volumen Especifico	Diámetro	Área	Velocidad
cédula 40	(Kg/s)	(m ³ /Kg)	(m)	(m ²)	(m/s)
¼	0,00417	0,48201	0,0092	6,64761E-05	30,21198571
⅜	0,00417	0,48201	0,0125	0,000122718	16,36571181
½	0,00417	0,48201	0,0158	0,000196067	10,24332026
¾	0,00417	0,48201	0,021	0,000346361	5,798509004
1	0,00417	0,48201	0,0266	0,000555716	3,614029157

Para evitar pérdidas de carga, y por ser comercial, se selecciona un ducto de $\frac{1}{2}$ [in],

con una velocidad de flujo igual a $10,243 \left[\frac{m}{s} \right]$.

3.1.5 Selección de la válvula de estrangulamiento.

Cuando un fluido se expande desde una región de alta presión hasta otra de baja presión generalmente se hace trabajo, o se producen cambios en la energía potencial y cinética. Cuando no ocurren tales efectos se dice entonces que el proceso es de estrangulamiento. Por lo general se realiza mediante válvulas que estrangulan el fluido, pues este al adquirir una velocidad alta se disipa en turbulencia, o pueden reducirse a cero mediante la correcta selección del tubo.

Una válvula de estrangulamiento es simplemente una restricción al flujo, se reduce la presión, no realiza trabajo por lo tanto la transferencia de calor es mínima. Si se elige el volumen de control suficientemente alejado de dicha restricción, el cambio de energía cinética resulta pequeño.

3.1.5.1 Válvulas industriales. [8]

Son válvulas industriales, el tipo de válvula que como elemento mecánico se emplea para regular, permitir o impedir el paso de un fluido a través de una instalación industrial o máquina de cualquier tipo.

3.1.5.1.1 Componentes de una válvula industrial.

Las válvulas industriales están compuestas de los siguientes elementos:

- **Cuerpo:** Es la parte a través de la cuál circula el fluido.
- **Obturador:** Es el elemento que hace que la sección de paso varíe, regulando el caudal y por tanto la pérdida de presión.
- **Accionamiento:** Es la parte de la válvula que hace de motor para que el obturador se sitúe en una posición concreta. Puede ser motorizado, mecánico, neumático, manual o electromagnético.
- **Cierre:** Une el cuerpo con el accionamiento. Hace que la cavidad del cuerpo y del obturador donde hay fluido sea estanco y no fugue.
- **Vástago:** Es el eje que transmite la fuerza del accionamiento al obturador para que este último se posicione.



Figura 3.1: Válvulas.

3.1.5.1.2 Clasificación de las válvulas industriales.

Las válvulas industriales tienen diversos usos por lo tanto se pueden encontrar de distintos tipos según sea el requerimiento, las más importantes son:

- Válvula de globo.
- Válvula de compuerta.
- Válvula de esférica.

3.1.5.1.2.1 Válvula de globo.

La válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería.

Esta válvula se recomienda para accionamiento frecuente, estrangulación o regulación, cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación.

Entre sus ventajas podemos encontrar:

- Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.
- Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y en el bonete.
- Control preciso en la circulación.

Una de sus desventajas en comparación con los otros tipos de válvulas es su elevado costo, y un incremento en la caída de presión, puede estar construida de diferentes materiales como, bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero inoxidable, plásticos.



Figura 3.2: Válvula de globo.

3.1.5.1.2.2 Válvula de compuerta.

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para el control todo o nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo del fluido cuando está en posición de apertura total.

Se las utiliza en servicio con apertura total, sin estrangulación, para uso poco frecuente, resistencia mínima a la circulación, en pocas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Entre sus ventajas se pueden mencionar:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Entre sus desventajas se tiene:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar abierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.



Figura 3.3: Válvula de compuerta.

3.1.5.1.2.3 Válvula Esférica.

Las válvulas esféricas son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una esfera taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira 90° .

Estas válvulas se utilizan para servicio de conducción y corte, sin estrangulación, cuando se requiere apertura rápida, en temperaturas moderadas, cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.

Entre sus ventajas están:

- Bajo costo.
- Alta capacidad.
- Corte bidireccional.
- Circulación en línea recta.
- Pocas fugas.
- Se limpia por sí sola.
- Poco mantenimiento.
- No requiere lubricación.
- Tamaño compacto.

Sus principales desventajas son:

- Características deficientes para estrangulación.
- Alta torsión para accionarla.
- Susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras.

- Propensa a la cavitación.



Figura 3.4: Válvula de esférica.

El objetivo de la válvula, en la presente tesis, es el de obtener un proceso de expansión adiabática, en el cual toda la energía se disipa en forma de calor irreversible y sin realizar trabajo externo, es el denominado proceso de estrangulamiento.

Analizando las características, ventajas y desventajas de diferentes válvulas, se selecciona la válvula de globo.

3.1.6 Cámara de expansión.

Luego de la expansión adiabática, el estado del vapor al final del proceso es recalentado, en estas condiciones el vapor pasa a una cámara donde se puede evaluar su presión y su temperatura. Si la salida de esta cámara es a la atmósfera, la presión final será la atmosférica local. Los cambios de velocidad son despreciables.



Figura 3.5: Cámara de expansión

3.1.5.2 Dimensionamiento de la cámara de expansión.

Para dimensionar la cámara de expansión se utiliza la ecuación de continuidad, igualando el flujo de masa en el ducto seleccionado (punto 1) con el de la cámara (punto 2).

$$\overset{o}{m}_1 = \overset{o}{m}_2 \quad (3.5)$$

$$\rho_1 A_1 \bar{V}_1 = \rho_2 A_2 \bar{V}_2 \quad (3.6)$$

Dónde:

$$\rho_1 = 2,0755 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$A_1 = 0,000196 \left[m^2 \right]$$

$$\bar{V}_1 = 10,243 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\rho_2 = 1,3462 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\bar{V}_2 = 5 \left[\frac{m}{s} \right] \text{ (Velocidad tentativa)}$$

$$A_2 = \frac{2,0755(10,243)(0,000196)}{1,3462(5)}$$

$$A_2 = 0,000619 \left[m^2 \right]$$

Entonces:

$$D_2 = 2,8075 \left[cm \right] = 1,1053 \left[in \right]$$

Del volumen específico:

$$v = \frac{V}{\overset{o}{m}} \quad (3.7)$$

V : Volumen total de la cámara de expansión

$$V = 0,0031 \left[m^3 \right]$$

$$V = A_2 L \quad (3.8)$$

$$L = \frac{0,031}{0,000619}$$

$$L = 5,0034 [m]$$

En la primera iteración, se puede observar que la cámara de expansión tiene las siguientes medidas:

$$D = 0,028 [m]$$

$$L = 5,0034 [m]$$

Estas medidas al no guardar una proporción son descartadas, por lo cual se procede a una nueva iteración dando un nuevo valor de la velocidad del vapor en la cámara.

A través de una hoja de cálculo (EXCEL), se obtiene diferentes diámetros, para distintas velocidades del flujo:

Tabla 3.2: DIÁMETRO DE LA CÁMARA DE EXPANSIÓN.

	Velocidad 1	Área 1	Densidad 1	Velocidad 2	Densidad 2	Área 2	Diámetro 2	Diámetro 2
	(m/s)	(m ²)	(kg/m ³)	(m/s)	(kg/m ³)	(m ²)	(cm)	(in)
1 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	5	1,3462	0,000619	2,8075	1,1053
2 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	4	1,3462	0,000774	3,1389	1,2358
3 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	3	1,3462	0,001032	3,6245	1,4269
4 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	2	1,3462	0,001548	4,4390	1,7476
5 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	1	1,3462	0,003095	6,2777	2,4715
6 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	0,5	1,3462	0,006191	8,8781	3,4953
7 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	0,35	1,3462	0,008844	10,6113	4,1777
8 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	0,25	1,3462	0,012381	12,5555	4,9431
9 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	0,15	1,3462	0,020635	16,2090	6,3815
10 Iteración	10,243	0,000196	2,0755	0,1	1,3462	0,030953	19,8519	7,8157

De igual forma, se obtiene diferentes longitudes para distintos diámetros:

Tabla 3.3: LONGITUD DE LA CÁMARA DE EXPANSIÓN.

	Diámetro 2	Área	Volumen	Longitud	Longitud	Longitud
	(m)	(m ²)	(m ³)	(m)	(cm)	(in)
1 Iteración	0,02807	0,00062	0,00310	5,0034	500,339	196,984
2 Iteración	0,03139	0,00077	0,00310	4,0027	400,271	157,587
3 Iteración	0,03624	0,00103	0,00310	3,0020	300,203	118,190
4 Iteración	0,04439	0,00155	0,00310	2,0014	200,135	78,793
5 Iteración	0,06278	0,00310	0,00310	1,0007	100,068	39,397
6 Iteración	0,08878	0,00619	0,00310	0,5003	50,034	19,698
7 Iteración	0,10611	0,00884	0,00310	0,3502	35,024	13,789
8 Iteración	0,12555	0,01238	0,00310	0,2502	25,017	9,849
9 Iteración	0,16209	0,02064	0,00310	0,1501	15,010	5,910
10 Iteración	0,19852	0,03095	0,00310	0,1001	10,007	3,940

Luego de realizar 10 iteraciones, se selecciona las medidas que tienen una proporción adecuada para la cámara de expansión:

$$D = 4,94 \text{ [in]}$$

$$L = 9,84 \text{ [in]}$$

3.1.5.3 Diseño mecánico de la cámara de expansión. [9]

Con los datos de diámetro y longitud, se diseña la cámara, para lo cual se basa en el cálculo de recipientes a presión de las normas ASME sección VIII división II.

Los recipientes a presión están sometidos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente, el tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, o de la geometría del recipiente y su construcción.

3.1.5.3.1 Cargas.

Un recipiente a presión puede estar sometido a las siguientes cargas:

- Presión interna o externa
- Peso del recipiente y su contenido
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar.
- Presión del viento y fuerzas sísmicas.
- Reacciones por impacto debido a choque hidráulico.
- Gradientes de temperatura.

3.1.5.3.2 Esfuerzos.

Se pueden presentar diferentes esfuerzos en un recipiente a presión, tales como:

- Esfuerzo a la tensión.
- Esfuerzo longitudinal o a la compresión.
- Esfuerzo producidos por la combinación de sismos o de la presión del viento con otras cargas.
- Esfuerzo primario general de membrana inducido por cualquier combinación de cargas.

3.1.5.3.2.1 Esfuerzos en cascos cilíndricos.

La presión uniforme, interna o externa, induce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble de la que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro.

Cuando otras fuerzas, viento, sísmicas, etc., no son factores importantes, un recipiente sujeto a presión externa, debe diseñarse para resistir solo la deformación circunferencia, las normas establecen el método de diseño para llenar tal requisito. Cuando actúen además otras cargas, la combinación de las mismas puede ser la que rija, y podrá requerirse una placa de mayor espesor que el necesario para resistir únicamente la deformación circunferencial.

El esfuerzo a la compresión debido a la presión externa y el esfuerzo a la presión interna se determinan mediante las siguientes fórmulas.

- Junta circunferencial.

$$S_1 = \frac{PD}{4t} \quad (3.9)$$

- Junta longitudinal.

$$S_1 = \frac{PD}{2t} \quad (3.10)$$

Dónde:

D = Diámetro medio del recipiente. [in].

P = Presión interna o externa $\left[\frac{lb}{in^2} \right]$.

S_1 = Esfuerzo longitudinal $\left[\frac{lb}{in^2} \right]$.

S_2 = Esfuerzo circunferencial $\left[\frac{lb}{in^2} \right]$.

t = espesor del casco, sin margen por corrosión [in].

3.1.5.3.3 Presión interna.

Para diseñar un recipiente a presión sometido a presión interna, se debe conocer los siguientes conceptos.

3.1.5.3.3.1 Presión de operación.

Es la presión que se requiere en el proceso y del que forma parte el recipiente, a la cual este trabaja normalmente.

3.1.5.3.3.2 Presión de diseño.

Es la presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor de la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 psi o 10 % más de la presión de trabajo, la que sea mayor.

También debe tomarse en consideración la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente.

3.1.5.3.3.3 Máxima presión permitida de operación.

La presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del recipiente corresponde al esfuerzo máximo admisible, cuando se supone que el recipiente está:

- En estado de desgaste por corrosión.
- A una temperatura determinada.
- En posición normal de trabajo.
- Bajo el efecto de otras cargas como pueden ser de viento, presión interna, presión hidrostática, etc., que son aditivas a la presión interna.

Una práctica común es en el diseño de recipientes a presión es considerar la presión máxima de trabajo permitida de la cabeza o del casco, y no la de elementos pequeños, como bridas aberturas, etc.

3.1.5.3.3.4 Presión hidrostática.

Es una y media veces la máxima presión permitida de operación o la presión de diseño cuando no se hacen los cálculos para determinar la presión máxima permitida de trabajo.

Si el valor del esfuerzo del material del recipiente a la temperatura de diseño es menor que a la temperatura de prueba, la presión de prueba hidrostática debe incrementarse proporcionalmente.

3.1.5.3.4 Valores del esfuerzo máximo.

Los valores del esfuerzo de tensión máximo permitido para diferentes materiales se encuentran en ANEXO 1 [9].

3.1.5.3.5 Eficiencia de las juntas.

La eficiencia de los diferentes tipos de juntas soldadas aparece en el ANEXO 2 [9].

3.1.5.3.6 Diseño de la cámara de expansión.

A continuación se presentan las ecuaciones que se emplean para el cálculo del espesor de pared requerido y la presión máxima de trabajo para los tipos de casco y de cabeza de uso más frecuente. Las ecuaciones para casco cilíndrico se dan para la costura longitudinal, ya que es la que rige generalmente.

El esfuerzo de la costura circunferencial rige solamente cuando la eficiencia de la junta circunferencial es menor que la mitad que la eficiencia de la junta longitudinal, o cuando además de la presión interna, hay cargas adicionales como el viento que produce flexión o tensión longitudinal. La razón de esto es que el esfuerzo que se origina en la costura circunferencial es igual a la mitad del que se origina en la costura longitudinal.

De acuerdo con esto las fórmulas para la costura circunferencial son:

Par el espesor de pared del casco:

$$t = \frac{P_d R}{S E - 0,6 P_d} \quad (3.11)$$

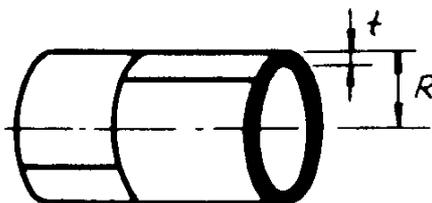


Figura 3.6: Espesor casco cilíndrico.

Para la presión de diseño:

$$P_d = \frac{S E t}{R + 0,6 t} \quad (3.12)$$

Para cabeza elipsoidal:

$$t_c = \frac{P_d D}{2 S E - 0,2 P_d} \quad (3.13)$$

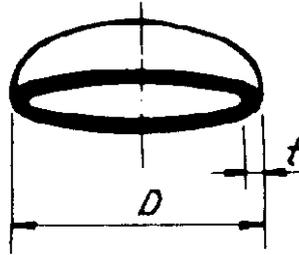


Figura 3.7: Espesor cabeza elipsoidal.

Donde se tiene:

$P_d =$ Presión de diseño o presión máxima permitida de trabajo $\left[\frac{lb}{in^2} \right]$.

$S =$ Valor del esfuerzo del material $\left[\frac{lb}{in^2} \right]$.

$E =$ Eficiencia de la junta.

$R =$ Radio exterior $[in]$.

$D =$ Diámetro exterior $[in]$.

$t =$ Espesor de pared $[in]$.

$t_c =$ Espesor cabeza elipsoidal

$C.A. =$ Margen de corrosión $[in]$.

Con las ecuaciones para el diseño mecánico del casco y de la cabeza de la cámara de expansión se procese a su diseño.

Se determina la presión de diseño para lo cual se tiene dos criterios:

- Sumar el 10 % de la presión de trabajo.
- Sumar 30 $[psi]$ a la presión de trabajo.

Con el aumento del 10 % de la presión de trabajo se tiene que la presión de diseño es:

$$P_d = 61,1 [psia]$$

Sumando 30 psi a la presión de trabajo se tiene:

$$P_d = 85,55 [psia]$$

Se selecciona la presión de 85.55psia ya que es la mayor.

Se selecciona del ANEXO 3 una placa de acero SA-515 grado C, para recipientes a presión servicios a temperatura media y alta.

En la tabla 3.4 se selecciona el esfuerzo del material a una temperatura en el rango de 0 a $315,5$ $^{\circ}\text{C}$: $S = 15000$ $[\text{psi}]$

La eficiencia de la junta se selecciona del ANEXO 2.

$E = 0,6$, para una junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo, no examinada.

Se procede al cálculo del espesor de pared del casco.

$$t = \frac{85,55(2,47)}{15000(0,6) - 0,6(85,55)}$$

$$t = 0,0236 \text{ [in]}.$$

A este valor de espesor de casco, se suma un margen de corrosión de $0,125$ $[\text{in}]$.

$$t = 0,148 \text{ [in]} = 3,75 \text{ [in]}.$$

Se determinan ahora, los esfuerzos longitudinal y circunferencial de la cámara de expansión.

Para el esfuerzo longitudinal se reemplazan los datos en la ecuación (3.10), se tiene:

$$S_2 = \frac{85,55(5,088)}{2(0,148)}$$

$$S_2 = 1470,5 \text{ [psi]} .$$

El del esfuerzo circunferencial, se calcula con la ecuación (3.9), obteniendo:

$$S_2 = \frac{85,55(5,088)}{4(0,148)}$$

$$S_l = 735,26 \text{ [psi]}.$$

Para determinar el espesor de la cabeza elipsoidal del casco se aplica la ecuación (3.13)

$$t_c = \frac{85,55(4,94)}{2(15000)(0,6) - 0,2(85,55)}$$

$$t = 0,0234 \text{ [in]}.$$

Agregándole el margen de corrosión se tiene:

$$t = 0,1484 \text{ [in]} = 3,76 \text{ [m]}.$$

Para determinar la altura de la cabeza elipsoidal, se utiliza la siguiente ecuación:

$$h = \frac{D_i}{4} \quad (3.14)$$

h = Altura de cabeza elipsoidal [in].

D_i = Diámetro interno de la cabeza elipsoidal [in].

$$h = \frac{4,94}{4}$$

$$h = 1,235 \text{ [in]}.$$

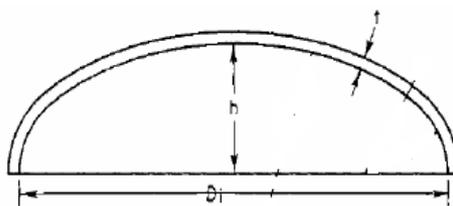


Figura 3.8: Cabeza elipsoidal.

3.1.6 Selección del aislamiento térmico.

Las pérdidas de calor por convección deben reducirse al mínimo, por lo que, los elementos que transportan el vapor deben estar aislados térmicamente.

3.1.6.1 Conducción de calor en paredes cilíndricas.

Esta teoría se aplica en el cálculo de la cantidad del calor que se pierde en tuberías aisladas.

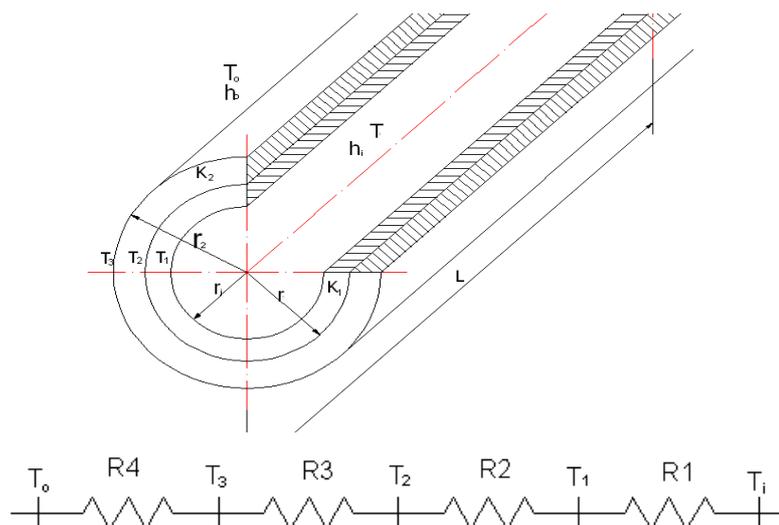


Figura 3.9: Paredes cilíndricas con aislante.

La pérdida del calor dependerá del espesor del aislante que se utilice en la tubería, está perdida se la evalúa con la ecuación Fourier:

$$q = \frac{T_i - T_o}{\Sigma R} \quad (3.15)$$

Dónde:

q = Es el calor que se pierde en la tubería.

T_i = Temperatura del vapor.

T_o = Temperatura del ambiente.

ΣR = Circuito térmico equivalente, por convección y conducción.

En el circuito térmico equivalente se encuentran tanto las resistencias térmicas de convección como las de conducción.

Resistencia térmica por convección desde el fluido a T_i , hasta la superficie de la pared a T_1 , $A_1 = 2.\pi.r_i.L$

$$R_1 = \frac{1}{h_i A_i} \quad (3.16)$$

Resistencia térmica por conducción, en la pared cilíndrica de espesor $r_1 - r_i$, desde T_1 a T_2 .

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2\pi k_1 L} \quad (3.17)$$

Resistencia térmica por conducción en la pared cilíndrica (aislante) de espesor $r_0 - r_1$ desde T_2 a T_3 .

$$R_3 = \frac{\ln \frac{r_0}{r_1}}{2\pi k_2 L} \quad (3.18)$$

Resistencia térmica por convección desde la superficie de la pared a T_3 , hasta $A_0 = 2\pi r_0 L$.

$$R_1 = \frac{1}{h_o A_o} \quad (3.19)$$

3.1.6.2 Convección.

La convección es el mecanismo transferencia de calor a través de un fluido con movimiento masivo de éste. En la convección existe movimiento del fluido a nivel macroscópico mientras que en la conducción existe movimiento a nivel microscópico, atómico o molecular, pero no a nivel macroscópico, entendiendo como nivel macroscópico movimiento de volúmenes relativamente grandes del fluido.

3.1.6.2.1 Convección forzada.

En la convección forzada se obliga al fluido a fluir mediante medios externos, para el caso de flujo interno, el fluido debe estar completamente confinado por las superficies interiores del tubo.

3.1.6.3 Conducción.

La conducción de calor se debe a un gradiente de temperatura en el interior de un medio o en medios diferentes. El proceso de propagación de la energía se ocasiona al contacto directo entre las partículas de un cuerpo o entre cuerpos, a distintas temperaturas. Va acompañada, generalmente, de variaciones de temperatura en el espacio y en el tiempo.

3.1.6.4 Números a dimensionales. [10]

En el análisis de la convección es práctica común quitar las dimensiones a las expresiones físico-matemáticas que modelan el mecanismo y agrupar las variables, dando lugar a los números a dimensionales. En convección se emplean los siguientes números a dimensionales:

3.1.6.4.1 Número de Nusselt (Nu)

Representa la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción.

Número de Nusselt Para convección natural superficies exteriores.

$$Nu = 0,53(Ra)^{0,25} \quad (3.20)$$

$$Para : 10^4 < Ra < 10^9$$

Número de Nusselt Convección forzada superficies exteriores:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) Re Pr}{1,07 + 12,7 \sqrt{\frac{f}{8}} \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (3.21)$$

$$Nu = \frac{h_o L_c}{k_o} \quad (3.22)$$

$h_o =$ Coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{Btu}{h ft^2 {}^\circ F} \right]$

$R_a =$ Número de Rayleigh.

$k =$ Coeficiente de conductividad térmica. $\left[\frac{Btu}{h ft {}^\circ F} \right]$

$L_c =$ longitud característica. [ft].

3.1.6.4.2 Número de Prandtl (Pr).

Representa la relación que existe entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad molecular del calor o entre el espesor de la capa límite de velocidad y la capa límite térmica, este valor se lo obtiene de tablas con la temperatura de saturación del caldero.

3.1.6.4.3 Número de Reynolds (Re)

Representa la relación que existe entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de volumen de un fluido. Es un indicativo del tipo de flujo del fluido, laminar o turbulento.

Para tubos: si $Re < 2300$ el flujo es laminar. Si $2300 < Re < 10000$ el flujo es de transición. Si $Re > 10000$ el flujo es turbulento.

$$Re = \frac{\rho \bar{V} L_c}{\mu} \quad (3.23)$$

Dónde:

ρ = Densidad del fluido

L_c = Longitud característica

μ = Viscosidad dinámica

3.1.6.4.4 Número de Grashof(Gr)

Es un número adimensional en mecánica de fluidos que es proporcional al cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido.

Las propiedades del vapor se encuentran en el ANEXO 4 [22].

3.1.6.5 Datos para el cálculo.

Se presentan todos los parámetros necesarios para determinar el espesor del aislante de la tubería.

$$\text{Diámetro exterior tubería } \frac{1}{2} (L_{c2}) = 0,84 \text{ in} = 0,07 \text{ [ft]}.$$

$$\text{Radio exterior de la tubería } \frac{1}{2} (r_1) = 0,035 \text{ [ft]}.$$

$$\text{Radio interior de la tubería } \frac{1}{2} (r_i) = 0,0259 \text{ [ft]}.$$

$$\text{Temperatura ambiente } (T_0) = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

$$\text{Temperatura superficie del tubo } (T_2) = 220 \text{ [}^\circ\text{F]} \text{ (asumido).}$$

$$\text{Temperatura del vapor } (T_i) = 287,67 \text{ }^\circ\text{F}, \text{ a } 55,55 \text{ [psia]}.$$

$$\text{Velocidad del vapor} = 10,243 \frac{m}{s} = 33,6 \left[\frac{ft}{s} \right]$$

$$\text{Viscosidad dinámica } (\mu) = 9,2171 \times 10^{-6} \left[\frac{lb}{ft \cdot s} \right]$$

$$\text{Longitud de la tubería } 2m = 6,56 \text{ [ft]}$$

$$\text{Número de Prandtl } (Pr) = 0,9514 \text{ para vapor a } 287,67 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

Coefficiente de conductividad térmica del vapor (k_i) = $0,0167 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \right]$

Coefficiente de conductividad térmica de la tubería (k_l) = $33,7649 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \right]$

3.1.6.5.1 Cálculo del aislante.

Un buen aislamiento térmico puede conseguir de forma permanente y continua que la temperatura de la superficie del ducto, se mantenga por encima de la del rocío del ambiente, con lo que se evitara su condensación.

3.1.6.5.1.1 Resistencias térmicas.

Se calcula las resistencias térmicas, del circuito térmico:

Resistencia 1

El número de Reynolds es:

$$Re = \frac{33,59(0,0518)(0,1295)}{9,2171 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 24462,15$$

Para $Re > 10000$ se considera flujo turbulento.

El factor de fricción es:

$$f = (1,82 \log_{10} Re - 1,64)^{-2} \quad (3.24)$$

$$f = [1,82 \log_{10} (35814,47) - 1,64]^{-2}$$

$$f = 0,02482$$

Para convección forzada en la ecuación (3.21)

$$Nu = \frac{\left(\frac{0,02482}{8}\right)(24462,15)0,9514}{1,07 + 12,7\sqrt{\frac{0,02482}{8}} \left[(0,9514)^{\frac{2}{3}} - 1\right]}$$

$$Nu = 68,97$$

Con el valor del número de Nusselt ahora se encuentra el coeficiente de transferencia de calor por convección del vapor (ecuación 3.22).

$$h_i = \frac{68,97(0,0167)}{0,0518}$$

$$h_i = 22,224 \left[\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \right]$$

Entonces:

$$R_1 = \frac{1}{22,224(0,0259)(6,56)}$$

$$R_1 = 0,04212 \left[\frac{h^\circ F}{Btu} \right]$$

Resistencia 2.

Resistencia térmica por conducción en la tubería.

Reemplazando los valores en la ecuación (3.17) se tiene:

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,035}{0,0259}}{2\pi(33,7649)(6,56)}$$

$$R_2 = 0,000216 \left[\frac{h^\circ F}{Btu} \right]$$

Resistencia 3

Es la resistencia que se da por el aislante, como el primer cálculo se lo realiza sin aislante, entonces R_3 es nulo

Resistencia 4

Resistencia térmica por convección del aire.

En este caso se tiene convección natural del aire hacia el ducto, para lo cual se determinan los siguientes parámetros:

Para obtener las propiedades del aire se lo hace a temperatura fílmica.

$$T_f = \frac{T_o + T_w}{2} \quad (3.25)$$

Donde

T_f :temperatura fílmica

T_o :temperatura ambiente

T_w :temperatura de la superficie del ducto

$$T_f = \frac{68 + 220}{2} = 144 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

En la tabla 3.7, encontramos las propiedades para el aire a la temperatura fílmica

$$Pr = 0.72$$

$$k_o = 0,01628 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h ft } ^\circ\text{F}} \right]$$

$$\frac{\rho^2 g \beta}{\mu} = 1,3596 \times 10^6 \left[\frac{1}{^\circ\text{F ft}^2} \right]$$

En la convección natural otro parámetro necesario para determinar el valor del coeficiente de transferencia de calor es el número de Grashof cuya ecuación es:

$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta}{\mu} (T_w - T_o)(L_c)^3 \quad (3.25)$$

Donde se tiene:

L_c = longitud característica

Reemplazando los valores se tiene:

$$Gr = 1,3506 \times 10^6 (220 - 68)(0,07)^3$$

$$Gr = 70414,8816$$

Con el número de Grashof y Prandtl, se calcula el número de Rayleigh

$$Ra = Pr Gr \quad (3.26)$$

$$Ra = 51036,56$$

Para $10^4 < Ra < 10^9$ se tiene que

$$Nu = 0,53(Ra)^{0,25}$$

$$Nu = 7,966$$

De la ecuación (3.22) se tiene:

$$h_o = \frac{7,966(0,01628)}{0,07}$$

$$h_o = 1,8526 \left[\frac{Btu}{h \text{ ft } ^\circ F} \right]$$

Se determina el valor de R_4 :

$$R_4 = \frac{1}{1,8526(\pi)(0,07)(6,56)}$$

$$R_4 = 0,374 \left[\frac{h \text{ } ^\circ F}{Btu} \right]$$

Con los valores de las resistencias térmicas se puede determinar la pérdida de calor, para lo cual se tiene:

$$q = \frac{287,67 - 68}{0,0421 + 0,000216 + 0,374}$$

$$q = 527,4358 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

Como la temperatura de la superficie del tubo es asumido, se calcula esta temperatura.

Despejando de la ecuación de las pérdidas de calor se tiene:

$$T_2 = T_1 - q(R_1 + R_2) \quad (3.27)$$

$$T_2 = 287,67 - 527,4358 \times (0,0421 + 0,000216)$$

$$T_2 = 265,34 \text{ } [^\circ F]$$

Como la temperatura asumida es diferente a la calculada se realiza otra iteración, a través de una hoja de cálculo (EXCEL).

Tabla 3.8: HOJA DE CÁLCULO PARA PÉRDIDAS DE CALOR DUCTOS.

DATOS:		
Masa de vapor (lb/s)	0,01	
Diámetro exterior (in),(ft)	0,84	0,07
Diámetro interior (in),(ft)	0,622	0,0518
Longitud (ft)	6,56	
Conductividad térmica del ducto (w/mC)(BTU/hft°F)	58,4472	33,770
Densidad vapor (lb/ft3)	0,1295	
Viscosidad Dinámica (lb/fts)	9,217E-06	
# Prandtl vapor	0,9514	
Conductividad térmica del vapor K (BTU/h ft °F)	0,0167	
Constante	1158035	
Temperatura ambiente(°F)	68	
Temperatura Superficie externa del aislante (°F)	264,3	
Conductividad térmica del aire (BTU/h ft °F)	0,016723	
Conductividad térmica aislante (w/mC)(BTU/hft°F)	0,038	0,021956
Espesor aislante(in)	0	0
Diámetro del aislante	0,84	0,07
Temperatura Ti (°F)	287,67	
# Prandtl aire	0,72	
COEFICIENTE CONVECTIVO hi		
Velocidad del vapor (ft/s)	33,59	
# de Reynolds	24462,149	
Factor de fricción f:	0,024823	
# NUSSELT	68,979773	
COEFICIENTE CONVECTIVO hi (BTU/h ft2°F)	22,224351	
COEFICIENTE CONVECTIVO ho		
#Rayleigh	56139,508	
# NUSSELT	8,1581751	
COEFICIENTE CONVECTIVO ho (BTU/h ft2°F)	1,948988	
CALCULO DE RESISTENCIAS		
RESISTENCIA Ri	0,0421218	
RESISTENCIA R1	0,0002159	
RESISTENCIA R2	0	
RESISTENCIA Ro	0,3556625	
PÉRDIDA DE CALOR q (Btu/h)	551,93445	

Se realiza varias iteraciones hasta que la temperatura asumida sea igual a la temperatura calculada, se obtiene que la pérdida de calor sin aislante es:

$$q = 551,94 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

Se selecciona lana de vidrio como material para aislar el ducto y la cámara de expansión, para el cálculo de la pérdida de calor con aislante se lo realiza incrementando el espesor desde un valor de 0,01 in.

De la misma manera que se calculó la pérdida de calor del ducto sin aislante, se lo realiza con aislante aumentando una resistencia más, con ayuda de otra hoja de cálculo.

Tabla 3.9: ITERACIONES ESPESOR DE AISLANTE.

Ti (°F)	To (°F)	L (ft)	diametro 1 (ft)	diametro2 (ft)	espesor aislante (in)	K aislante (Btu/hft°F)	ho (Btu/hft²°F)	Ri (°F h/Btu)	R1 (°F h/Btu)	R2 (°F h/Btu)	Ro (°F h/Btu)	q (Btu/h)	r2 (in)
287,67	68	6,56	0,0518	0,07	0	0,02196	1,949	0,04212	0,000216	0,000	0,356	551,94	0,42
287,67	68	6,56	0,0518	0,0716667	0,01	0,02196	1,781	0,04212	0,000216	0,026	0,358	515,21	0,43
287,67	68	6,56	0,0518	0,0733333	0,02	0,02196	1,731	0,04212	0,000216	0,051	0,362	482,09	0,44
287,67	68	6,56	0,0518	0,075	0,03	0,02196	1,683	0,04212	0,000216	0,076	0,366	453,64	0,45
287,67	68	6,56	0,0518	0,0766667	0,04	0,02196	1,639	0,04212	0,000216	0,101	0,369	428,95	0,46
287,67	68	6,56	0,0518	0,0783333	0,05	0,02196	1,596	0,04212	0,000216	0,124	0,373	407,33	0,47
287,67	68	6,56	0,0518	0,08	0,06	0,02196	1,556	0,04212	0,000216	0,148	0,376	388,24	0,48
287,67	68	6,56	0,0518	0,0816667	0,07	0,02196	1,518	0,04212	0,000216	0,170	0,379	371,25	0,49
287,67	68	6,56	0,0518	0,0833333	0,08	0,02196	1,482	0,04212	0,000216	0,193	0,382	356,04	0,5
287,67	68	6,56	0,0518	0,085	0,09	0,02196	1,448	0,04212	0,000216	0,215	0,385	342,32	0,51
287,67	68	6,56	0,0518	0,0866667	0,1	0,02196	1,411	0,04212	0,000216	0,236	0,388	329,91	0,52
287,67	68	6,56	0,0518	0,0883333	0,11	0,02196	1,384	0,04212	0,000216	0,257	0,390	318,60	0,53
287,67	68	6,56	0,0518	0,09	0,12	0,02196	1,354	0,04212	0,000216	0,278	0,393	308,26	0,54
287,67	68	6,56	0,0518	0,0916667	0,13	0,02196	1,325	0,04212	0,000216	0,298	0,395	298,77	0,55
287,67	68	6,56	0,0518	0,0933333	0,14	0,02196	1,298	0,04212	0,000216	0,318	0,397	290,01	0,56
287,67	68	6,56	0,0518	0,095	0,15	0,02196	1,272	0,04212	0,000216	0,337	0,399	281,92	0,57
287,67	68	6,56	0,0518	0,1033333	0,2	0,02196	1,156	0,04212	0,000216	0,430	0,409	249,09	0,62
287,67	68	6,56	0,0518	0,1116667	0,25	0,02196	1,060	0,04212	0,000216	0,516	0,417	225,11	0,67
287,67	68	6,56	0,0518	0,12	0,3	0,02196	0,979	0,04212	0,000216	0,596	0,425	206,75	0,72
287,67	68	6,56	0,0518	0,1283333	0,35	0,02196	0,910	0,04212	0,000216	0,670	0,431	192,20	0,77
287,67	68	6,56	0,0518	0,1366667	0,4	0,02196	0,849	0,04212	0,000216	0,739	0,436	180,36	0,82
287,67	68	6,56	0,0518	0,145	0,45	0,02196	0,797	0,04212	0,000216	0,805	0,441	170,52	0,87
287,67	68	6,56	0,0518	0,1533333	0,5	0,02196	0,750	0,04212	0,000216	0,866	0,446	162,18	0,92
287,67	68	6,56	0,0518	0,1616667	0,55	0,02196	0,708	0,04212	0,000216	0,925	0,450	155,02	0,97
287,67	68	6,56	0,0518	0,17	0,6	0,02196	0,671	0,04212	0,000216	0,980	0,453	148,80	1,02
287,67	68	6,56	0,0518	0,1783333	0,65	0,02196	0,637	0,04212	0,000216	1,033	0,457	143,33	1,07
287,67	68	6,56	0,0518	0,1866667	0,7	0,02196	0,607	0,04212	0,000216	1,084	0,460	138,49	1,12
287,67	68	6,56	0,0518	0,195	0,75	0,02196	0,579	0,04212	0,000216	1,132	0,463	134,15	1,17
287,67	68	6,56	0,0518	0,2033333	0,8	0,02196	0,554	0,04212	0,000216	1,178	0,466	130,26	1,22
287,67	68	6,56	0,0518	0,2116667	0,85	0,02196	0,531	0,04212	0,000216	1,223	0,468	126,73	1,27
287,67	68	6,56	0,0518	0,22	0,9	0,02196	0,509	0,04212	0,000216	1,265	0,471	123,51	1,32
287,67	68	6,56	0,0518	0,2283333	0,95	0,02196	0,490	0,04212	0,000216	1,306	0,473	120,57	1,37
287,67	68	6,56	0,0518	0,2366667	1	0,02196	0,431	0,04212	0,000216	1,346	0,476	117,83	1,42

Se selecciona un espesor de aislante de 1 pulgada, las pérdidas de calor para los diferentes espesores de aislante se los presenta en el siguiente gráfico.

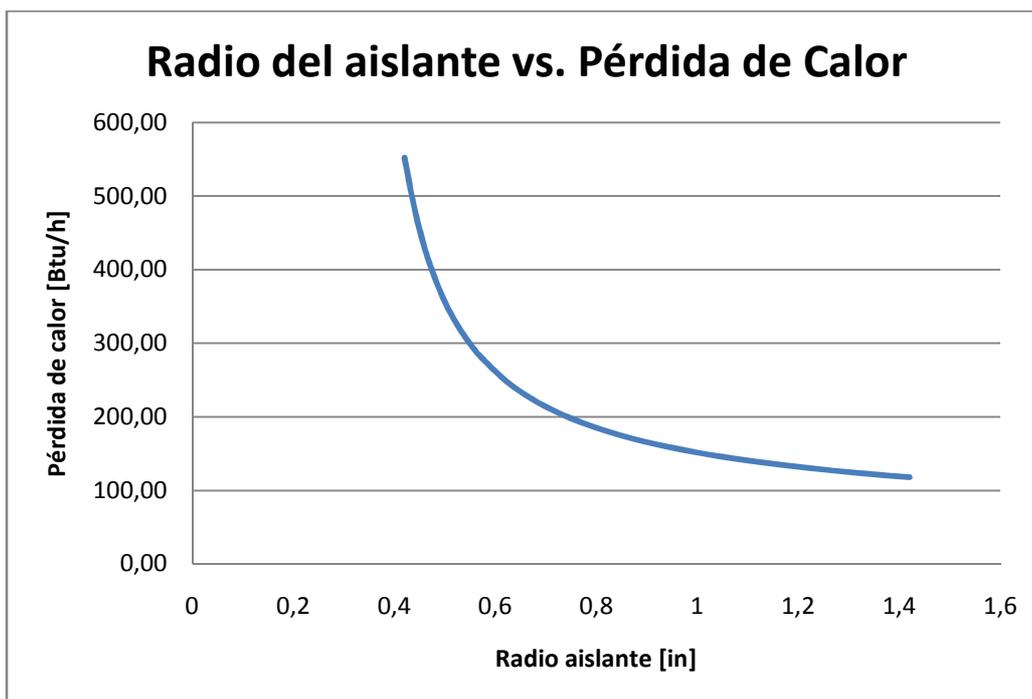


Figura 3.10: Radio del aislante – Pérdidas de calor tubería.

En el gráfico se muestra una tendencia a mantener constante las pérdidas de calor al aumentar el espesor del aislante, por lo cual se selecciona una cañuela de 1 pulgada de espesor.

De la misma forma se procede mediante iteraciones a determinar el espesor del aislante en la cámara de expansión, cuyos datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.10:HOJA DE CÁLCULO PÉRDIDAS DE CALOR CÁMARA DE EXPANSIÓN

DATOS:		
Masa de vapor (lb/s)	0,01	
Diámetro exterior (in),(ft)	5,563	0,4635833
Diámetro interior (in),(ft)	5,047	0,4206
Longitud (ft)	0,7874	
Conductividad térmica del ducto (w/mC)(BTU/hft°F)	58,4415628	33,767
Densidad vapor (lb/ft3)	0,1295	
Viscosidad Dinámica (lb/fts)	9,40E-06	
# Prandtl	0,9514	
Conductividad térmica vapor (BTU/h ft °F)	0,0167	
Constante	1629642,5	
Temperatura ambiente(°F)	68	
Temperatura Superficie externa Tubo (°F)	160,65	
Conductividad térmica aire (BTU/h ft °F)	0,0156865	
Conductividad térmica aislante (w/mC)(BTU/hft°F)	0,038	0,021956
Espesor aislante(in)	0	0
Diámetro del aislante	5,563	0,4635833
Temperatura Ti (°F)	259,29	
Prandtl aire	0,72	
COEFICIENTE CONVECTIVO hi		
Velocidad del vapor (ft/s)	1,1482	
# de Reynolds	6653,89737	
Factor de fricción f:	0,035359294	
# NUSSELT	26,84177462	
COEFICIENTE CONVECTIVO hi (BTU/h ft²°F)	1,065799809	
COEFICIENTE CONVECTIVO ho		
# Rayleigh	10830629,61	
# NUSSELT	30,40460009	
COEFICIENTE CONVECTIVO ho (BTU/h ft²°F)	1,028815587	
CÁLCULO DE RESISTENCIAS		
RESISTENCIA Ri	0,901832754	
RESISTENCIA R1	0,000582693	
RESISTENCIA R2	0	
RESISTENCIA Ro	0,847594933	
PÉRDIDA DE CALOR q (Btu/h)	109,3079231	

Tabla 3.10: ESPESOR DEL AISLANTE EN LA CÁMARA DE EXPANSIÓN

Ti (°F)	To (°F)	L (ft)	diametro 1 (ft)	diametro2 (ft)	espesor aislante (in)	K aislante (Btu/hft²°F)	ho (Btu/hft²°F)	Ri	R1	R2	Ro	q (Btu/h)	r2
259,29	68	0,787	0,4206	0,463583	0	0,02196	1,958	0,90183	0,000583	0,000	0,848	109,31	2,781498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4652497	0,01	0,02196	1,781	0,90183	0,000583	0,033	0,849	107,20	2,791498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4669163	0,02	0,02196	1,731	0,90183	0,000583	0,066	0,850	105,18	2,801498
259,29	68	0,787	0,4206	0,468583	0,03	0,02196	1,683	0,90183	0,000583	0,099	0,852	103,24	2,811498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4702497	0,04	0,02196	1,639	0,90183	0,000583	0,131	0,853	101,39	2,821498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4719163	0,05	0,02196	1,596	0,90183	0,000583	0,164	0,854	99,61	2,831498
259,29	68	0,787	0,4206	0,473583	0,06	0,02196	1,556	0,90183	0,000583	0,196	0,855	97,89	2,841498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4752497	0,07	0,02196	1,518	0,90183	0,000583	0,229	0,856	96,25	2,851498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4769163	0,08	0,02196	1,482	0,90183	0,000583	0,261	0,857	94,67	2,861498
259,29	68	0,787	0,4206	0,478583	0,09	0,02196	1,448	0,90183	0,000583	0,293	0,858	93,14	2,871498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4802497	0,1	0,02196	1,411	0,90183	0,000583	0,325	0,859	91,67	2,881498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4819163	0,11	0,02196	1,384	0,90183	0,000583	0,357	0,860	90,25	2,891498
259,29	68	0,787	0,4206	0,483583	0,12	0,02196	1,354	0,90183	0,000583	0,389	0,861	88,89	2,901498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4852497	0,13	0,02196	1,325	0,90183	0,000583	0,421	0,862	87,57	2,911498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4869163	0,14	0,02196	1,298	0,90183	0,000583	0,452	0,862	86,29	2,921498
259,29	68	0,787	0,4206	0,488583	0,15	0,02196	1,272	0,90183	0,000583	0,484	0,863	85,06	2,931498
259,29	68	0,787	0,4206	0,4969163	0,2	0,02196	1,156	0,90183	0,000583	0,639	0,866	79,45	2,981498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5052497	0,25	0,02196	1,060	0,90183	0,000583	0,792	0,868	74,64	3,031498
259,29	68	0,787	0,4206	0,513583	0,3	0,02196	0,979	0,90183	0,000583	0,943	0,870	70,45	3,081498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5219163	0,35	0,02196	0,910	0,90183	0,000583	1,091	0,871	66,79	3,131498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5302497	0,4	0,02196	0,849	0,90183	0,000583	1,237	0,871	63,54	3,181498
259,29	68	0,787	0,4206	0,538583	0,45	0,02196	0,797	0,90183	0,000583	1,380	0,871	60,65	3,231498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5469163	0,5	0,02196	0,750	0,90183	0,000583	1,522	0,871	58,06	3,281498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5552497	0,55	0,02196	0,708	0,90183	0,000583	1,661	0,870	55,71	3,331498
259,29	68	0,787	0,4206	0,563583	0,6	0,02196	0,671	0,90183	0,000583	1,798	0,869	53,59	3,381498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5719163	0,65	0,02196	0,637	0,90183	0,000583	1,933	0,868	51,65	3,431498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5802497	0,7	0,02196	0,607	0,90183	0,000583	2,066	0,866	49,87	3,481498
259,29	68	0,787	0,4206	0,588583	0,75	0,02196	0,579	0,90183	0,000583	2,198	0,865	48,24	3,531498
259,29	68	0,787	0,4206	0,5969163	0,8	0,02196	0,554	0,90183	0,000583	2,327	0,863	46,74	3,581498
259,29	68	0,787	0,4206	0,6052497	0,85	0,02196	0,531	0,90183	0,000583	2,455	0,861	45,35	3,631498
259,29	68	0,787	0,4206	0,613583	0,9	0,02196	0,509	0,90183	0,000583	2,581	0,859	44,05	3,681498
259,29	68	0,787	0,4206	0,6219163	0,95	0,02196	0,490	0,90183	0,000583	2,705	0,857	42,85	3,731498
259,29	68	0,787	0,4206	0,6302497	1	0,02196	0,471	0,90183	0,000583	2,827	0,855	41,72	3,781498

Se selecciona un espesor de aislante de 1 pulgada, la pérdida de calor es $41,72 \left[\frac{Btu}{h} \right]$.

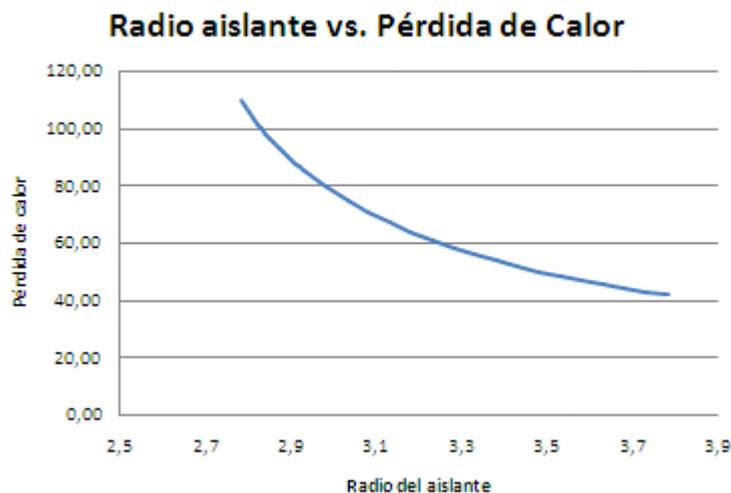


Figura3.11: Radio del aislante – Pérdidas de calor cámara

3.1.7 Construcción de la cámara de expansión.

Para la construcción de la cámara de expansión se seleccionó una tubería de 5 in de diámetro con un espesor de 0.28 in, se cortó una longitud de 24.5 cm, para luego poder refrentar en el torno dejando una longitud de 24 cm calculados.



Figura 3.12: Tubo de 5 in.

Para confeccionar las tapas de la cámara se utilizó una placa de acero A-36 con un espesor de 4 mm, con ayuda de la suelda oxiacetilénica se dio la forma a las tapas con un diámetro de 5 in. De igual manera se iguala el contorno de cada tapa con el torno.



Figura 3.13: Tapas cámara

Para ubicar el termómetro y la válvula de salida del vapor se realizaron dos agujeros ubicados en el centro de las tapas, tanto en la superior para el termómetro como en la inferior para la válvula.

Para fijar el termómetro se soldó un cono de bronce de $\frac{3}{4}$ in con ayuda de la oxiacetilénica.

En el tubo se practicó dos agujeros, uno para la entrada de vapor a una distancia de $\frac{3}{4}$ de la base de la tubería y el otro en la mitad de la tubería, opuesta al agujero anterior para ubicar el manómetro. Se soldó en cada agujero un neplo $\frac{1}{2}$ in x 2in.

Las tapas se fijaron a la tubería con ayuda de la suelda eléctrica



Figura 3.14: Cámara de expansión sin aislante.

Con la cámara de expansión construida se procede a aislarla utilizando lana de vidrio de una pulgada de espesor

Aislada la cámara de expansión se cubrió con tol galvanizado, dejando los agujeros para los instrumentos, la entrada y salida de vapor.

Cubierta la cámara se colocaron los instrumentos y la válvula para la salida del vapor, a continuación se colocó la cámara en la estructura fijándola a esta mediante espárragos.



Figura 3.15: Instrumentos en cámara de expansión.

Luego de fijar la cámara de expansión en la estructura se procedió a colocar el sistema de tubería que va hacia el caldero, en el cual se encuentra la válvula de estrangulamiento, para evitar fugas en el montaje de la tubería se utilizó teflón cubierto de sicaflex.

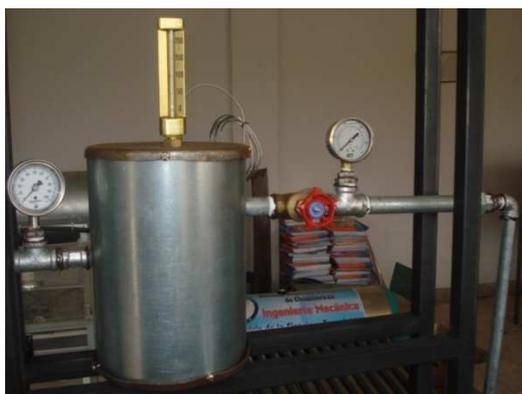


Figura 3.16: Montaje tubería.

Con la tubería montada se la aisló cubriéndola con cañuelas de lana de vidrio. Con el calorímetro instalado se procedió a realizar pruebas de funcionamiento

CAPÍTULO IV

4. CONTROL AUTOMÁTICO DELA CALDERA.

4.1. Control automático [11].

Los instrumentos con los cuales se controla el correcto funcionamiento del caldero, se vuelven más complejos en correspondencia al tamaño y potencia del mismo, en consecuencia, la generación de vapor en calderos de menor tamaño de bajapotencia requiere un reducido número de instrumentos, cuyo funcionamiento es más simple, con el empleo de estos, se obtiene una medida clara de los parámetros y señales provenientes; del nivel de líquido, temperatura, presión y conservación de la llama.



Figura 4.1: Tablero de control.

4.2. Control de nivel de Líquido.

Las calderas de operación automática, tienen que estar equipadas con un interruptor de bajo nivel de líquido. La función de este control es, bloquear la operación del quemador.

El nivel de líquido normal en una caldera, puede variar según el fabricante, pero generalmente se lo hace hasta los dos tercios del visor de nivel, a medida que la caldera

funcione, el líquido se convertirá en vapor y saldrá a través de los ductos de vapor, debido a esto, el nivel de líquido descenderá.

Al descender el nivel, por debajo de un punto crítico, los gases de combustión a elevadas temperaturas producirán el reblandecimiento de los tubos de fuego y paredes de la cámara de combustión, los cuales podrían deformarse o fundirse, produciéndose en una operación posterior, fugas de líquido y vapor en las uniones de tubos de fuego y espejos.

Se puede encontrar varios tipos de controles de nivel, los principales son:

4.2.1. Control de nivel accionado por flotador y bulbos de mercurio.

El control de nivel de este tipo (McDonnell & Millar ITT #s. 150 y 157), tiene en el interior de su alojamiento metálico una boya, la cual, al desplazarse en respuesta al aumento o disminución del nivel de líquido, permite el cambio de la posición de dos interruptores de mercurio, los cuales accionan o cortan el funcionamiento de la bomba de alimentación del agua, y encienden o apagan el quemador. Adicionalmente una alarma indica al operador si el nivel de fluido es o no el correcto.



Figura 4.2: McDonnell & Millar ITT. 150.

4.2.2. Control de nivel de líquido operado por flotador.

El nivel de líquido en el control nivel, es el mismo que en la caldera. En la caldera, al producirse vapor, el líquido disminuye, de igual manera que en el control de nivel. Si el flotador del control de nivel desciende por debajo de un punto crítico, éste abre un interruptor eléctrico conectado en serie con el quemador. El quemador se apaga inmediatamente, hasta que el nivel del líquido aumente a su punto de funcionamiento en la caldera.

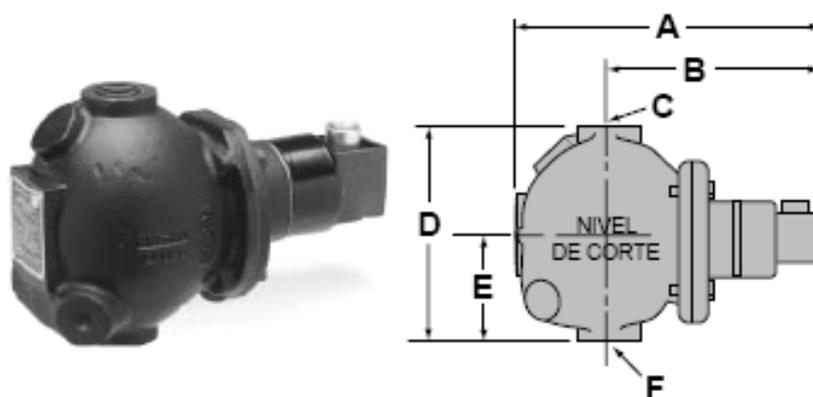


Figura 4.3: McDonnell & Millar 64.

4.3. Control de la presión del vapor.

Los calderos de acuerdo a sus características, deben trabajar a la presión y temperatura para la cual fueron diseñados, si trabaja a valores inferiores, su rendimiento no alcanzará los niveles deseados. Por esta razón, se requieren instrumentos confiables para la verificación del buen funcionamiento del a caldera.

4.3.1. Presóstato.

Las calderas, dependiendo de su potencia, cuentan con uno o varios presóstatos, los cuales actúan directamente sobre la operación del quemador, cortando o accionando los dispositivos de; parada - arranque, dependiendo si la presión de operación han sido o no la adecuada.

Es un interruptor de presión, que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

Básicamente están compuestos por: un diafragma, un mecanismo de transmisión de movimiento y contactos eléctricos que pueden ser platinos o bulbos de mercurio. El diafragma, es el elemento que mide la presión y en el cual se produce una deformación que es multiplicada y transmitida por un resorte o un mecanismo de barras al elemento que produce el contacto eléctrico.



Figura 4.4: Presóstato.

4.4. Quemadores de gas.

La combustión se define como la combinación rápida del oxígeno con los distintos elementos que constituyen el combustible, en la cual se origina un desprendimiento de luz y calor. En un proceso de combustión se requiere combustible y aire debidamente balanceados; lo más factible de controlar para prevenir la formación de una mezcla explosiva es el combustible, el aire es siempre abundante y esto dificulta que se lo pueda controlar. En el caso del metano, la combustión perfecta requiere que haya dos partes de oxígeno por cada parte de metano.

Los combustibles gaseosos se queman con mayor facilidad, la combustión se la realiza en una sola fase, y no existe problemas de atomización y vaporización (combustibles líquidos) o de pulverización (combustibles sólidos).

Los gases por lo general son limpios y por consiguiente no obstruyen ni ensucian las cámaras de combustión. La mayoría de los quemadores de las calderas a gas, utiliza quemadores atmosféricos debido a que las mezclas de gas y aire se encuentran a la presión atmosférica cuando se produce la combustión.



Figura 4.5: Quemador a gas.

4.5. Válvulas de seguridad.

Se emplea para impedir que en las calderas se desarrollen presiones de vapor excesivas, ésta se abre automáticamente a un valor de presión determinado, la cual permite evacuarlo a la atmósfera. Se instala en la parte superior de la caldera para evitar contacto con el personal que trabaja a su alrededor.

La válvula de seguridad consta de un muelle, cuya tensión se puede ajustar en su parte superior. Tiene una manecilla que permite accionarla en forma manual. Su número y tamaño, se determina de acuerdo a las características de la caldera.

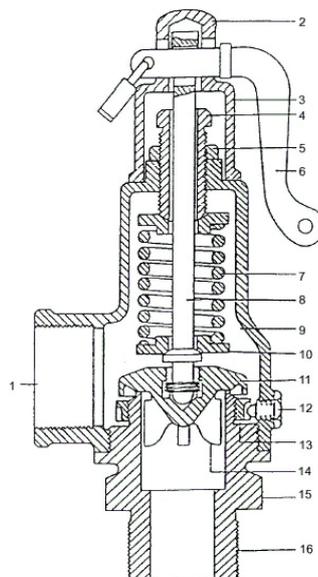


Figura 4.6: Válvula de seguridad.

En este tipo de válvulas se encuentran los siguientes elementos:

1. Boca de salida lateral
2. Caperuza
3. Sombrete o bonete.
4. Tornillo de ajuste.
5. Tuerca de fijación del ajuste
6. Palanca de apertura manual.
7. Resorte
8. Husillo o vástago.
9. Cuerpo
10. placa del extremo del resorte
11. Disco de cierre de la válvula
12. Tornillo de fijación del anillo de ajuste
13. Anillo del ajuste
14. Elementos de guiado en parte inferior
15. Asiento
16. Conexión roscada al recipiente

4.6. Válvulas de Purga. [6]

En las calderas se produce un aumento gradual de sedimentos, los cuales causan una capa de incrustaciones en el interior de la caldera, éstos deben ser eliminados mediante una válvula de la purga, periódicamente.

Los purgadores, por lo general se instalan en la parte inferior de la caldera y algunas veces también en su cuerpo cilíndrico; se utilizan para evacuar una cierta cantidad de líquido con el fin de extraer de la caldera: lodos, sedimentos y espumas.



Figura 4.7: Válvula de purga.

4.7. Sistema eléctrico.

4.7.1. Contactor.

Es un elemento que consta de un núcleo magnético y de una bobina, capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.

Cuando la bobina se energiza, genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo atrae a la armadura, con un movimiento rápido. Con este movimiento todos sus contactos: principales y auxiliares, cambian inmediatamente y de forma solidaria de posición.

En el circuito de control de la caldera, con la cual trabaja el calorímetro, el contactor es energizado por el selector de posición de la bomba, que está en serie con un contacto del McDonnell, dependiendo del nivel del líquido se abre o se cierra, permitiendo el funcionamiento de la bomba.



Figura 4.8: Contactor GMC-12.

4.7.2. Relés.

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, en el que por medio de una bobina y un electroimán, se acciona uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.



Figura 4.9: Relé.

4.7.3. Fusibles.

Son dispositivos de seguridad destinados a proteger las instalaciones eléctricas de posibles sobrecargas de tensión o de cortocircuitos. Su principio de funcionamiento indica, que cuando la corriente supera la que el fusible soporta, éste se funde e interrumpe su paso a los distintos elementos del sistema de control.



Figura 4.10: Fusibles.

4.7.4. Luz piloto.

Indica el funcionamiento de un equipo o un elemento que se encuentra representado en un tablero de control, en el caso del sistema de control de la caldera, se encuentran tres luces piloto las cuales indican: la señal de llama, el bajo nivel de agua y el funcionamiento de la bomba.



Figura 4.11: Luces piloto.

4.7.5. Selector de posición.

Consta de una serie de contactos eléctricos ya sean en modo normalmente abierto o cerrado, se los utiliza para activar: bobinas de contactores, arrancadores magnéticos, los cuales controlan diferentes elementos. En la caja del control de la caldera se encuentran dos selectores de posición, el primero enciende el quemador, mientras el segundo la bomba.



Figura 4.12: Selectores de posición.

4.7.6. Accesorios de montaje.

4.7.7.

Para realizar el montaje completo de un tablero eléctrico, en una instalación de automatismo, es necesario utilizar una serie de accesorios. A continuación se observa algunos de ellos que son muy utilizados.



Figura 4.13: Accesorios de montaje.

Otro tipo de accesorios muy utilizado son las borneras de conexión, las cuales se encuentran en la caja de control de la caldera para realizar las distintas conexiones.



Figura 4.14: Borneras.

4.8. Selección de la válvula de control de nivel.

La selección del controlador de nivel del líquido para calderas de vapor, depende de la máxima presión de trabajo, del diferencial existente entre: la presión de alimentación del líquido, la presión a la que se abre la válvula de seguridad y el tamaño de la caldera.

Debido a que la presión de trabajo de la caldera es de 45 psig, se selecciona una control de nivel; McDonnell Miller 64, el que tiene las siguientes características:

- Switches eléctricos que son accionados por un flotador, que se encuentra alojado en la caja de hierro fundido
- Presión máxima de la caldera 50 psi
- Corte del suministro de líquido en alto nivel y encendido de la bomba a bajo nivel.
- Diámetro de instalación de tubería: 1" NPT



Figura 4.15: Instalación del McDonnell.

4.9. Control de la llama.

4.9.1. Quemador de calefón.

Es un calentador de agua instantáneo que usa gas licuado de propano (GLP) y trabaja con un sistema de encendido automático parecido al sistema utilizado en los quemadores de calderas industriales. El sistema de encendido del calefón consta de las siguientes partes:

- Módulo electrónico
- Bujía de encendido
- Sensor de llama
- Válvula solenoide
- Válvula de gas
- Quemador
- Micro switch
- Válvula hidráulica

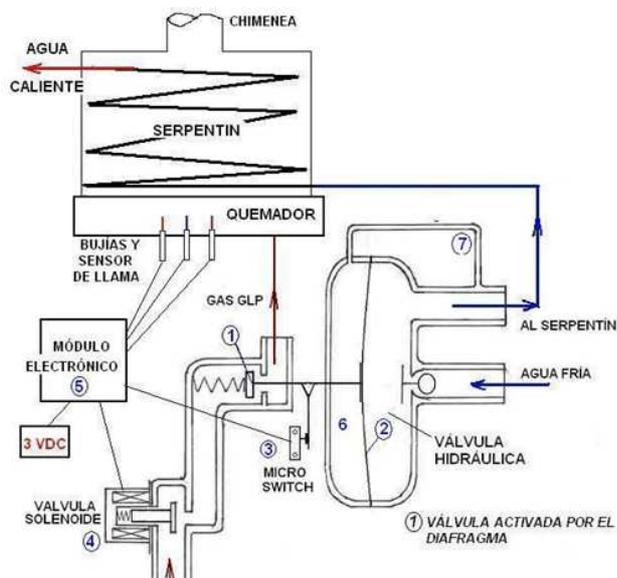


Figura 4.16: Esquema calefón.

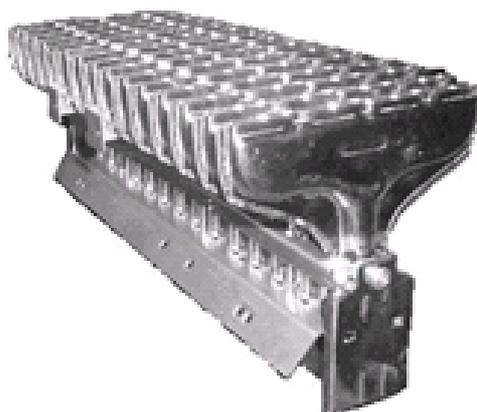


Figura 4.17: Quemador de calefón.

El quemador se coloca en la parte inferior de la caldera lo más cerca posible de los tubos, éste se sujeta mediante pernos a dos platinas soldadas en la base de la caldera.

4.10. Funcionamiento de la caldera.

Para encender correctamente la caldera y realizar las prácticas del laboratorio se siguen los siguientes pasos:

- Llenar una tercera parte del tanque de alimentación
- Se suministra líquido a la caldera, ajustando el selector de la bomba en la posición en ON, la luz piloto de la bomba se enciende, y sus contactos cambian de posición accionando la bomba hasta que el nivel de líquido sea el necesario para que el quemador funcione, ya con el nivel correcto el McDonnell abre su contacto el cual, no permite el paso de la corriente y deja a el contactor des energizado y la bomba se apaga, al igual que su luz indicadora en el tablero de control, no es necesario mover el selector de posición a off, ya que al bajar el nivel de líquido dentro de la caldera, el McDonnell encenderá otra vez la bomba automáticamente.
- Se debe colocar en la posición ON el selector del quemador del tablero de control, y si los controles de nivel y presión son los adecuados se energiza el modulo que controla el encendido de la chispa mediante la fuente de 1.5V. en ese instante se enciende la luz piloto de señal de llama, si el nivel de líquido dentro de la caldera no es el suficiente el quemador no funcionara y se encenderá la luz piloto de bajo nivel.



Figura 4.18: Tablero de control.

- El relé auxiliar, cierra uno de sus contactos abiertos, para energizar el módulo el cual controla el encendido del quemador, éste envía una señal a la solenoide piloto permitiendo el paso de una pequeña cantidad de gas al quemador, al mismo tiempo el módulo manda una señal a un electrodo ubicado en el quemador, para que se produzca una chispa, de esta manera queda encendida la llama piloto.



Figura 4.19: Circuito de control.

- Encendida la llama piloto, el sensor de llama actúa, si ésta es adecuada, el módulo envía una señal al solenoide principal permitiendo el flujo completo de gas al quemador, al cabo de algunos segundos el módulo suspende la chispa y la llama piloto quedando encendido el quemador.

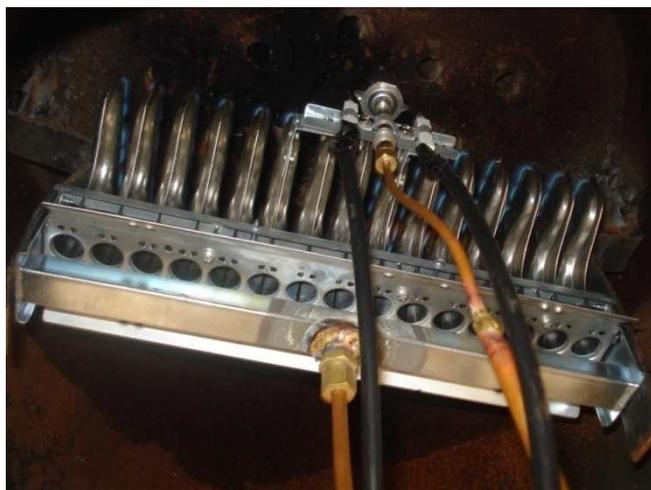


Figura 4.20: Quemador de la caldera.

- Si la llama es correcta, se mantiene hasta que los controles de presión y nivel actúen. El quemador se apagara por dos razones: la primera, si la presión del caldero llega al valor seteado en el presóstato, el cual es 45 psig. Éste se vuelve a encender cuando la presión descienda a 20psig marcada en el presóstato. Y la segunda, cuando el nivel de líquido en la caldera ha descendido demasiado. Si la llama no es correcta el sensor envía una señal para que el módulo suspenda el ingreso de combustible.

Luego de realizar la práctica de laboratorio, se debe colocar en posición off los selectores del tablero de control para apagar la bomba y el quemador, realizado esto, se debe desalojar el líquido que se encuentra en la caldera por medio de la válvula de purga, de igual manera se procede con la válvula de control de nivel.

Capítulo V

5. UTILIZACIÓN DE LABVIEW PARA EL CÁLCULO DE LA CALIDAD DEL VAPOR

5.1. Introducción a Labview [12].

Labview es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como: el análisis de datos, la adquisición de datos y el control de instrumentos. Al ser Labview un lenguaje de programación gráfico y basado en un sistema de ventanas, muchas veces es más fácil de utilizar que otros lenguajes típicos.

A diferencia de la gran cantidad de lenguajes de programación que se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, Labview emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de Labview no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares para científicos e ingenieros, éste se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

5.2. Partes del Labview.

Los programas desarrollados mediante Labview se denominan Instrumentos Virtuales (*Vis*), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los *Vis* tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros *Vis*.

Todos los *Vis* tienen los siguientes elementos:

- Panel frontal.
- Diagrama de bloques.
- Paletas de trabajo.

5.2.1. Panel frontal.

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Ésta recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control o indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

Los controles en el panel frontal son perillas, botones de presión, discos, y otros dispositivos de entrada. Éstos simulan los objetos de entrada en un instrumento físico y proveen datos al diagrama de bloques del VI.

Los indicadores son gráficas, LED, y otros desplegados, que representan los objetos de salida en un instrumento físico y despliegan datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

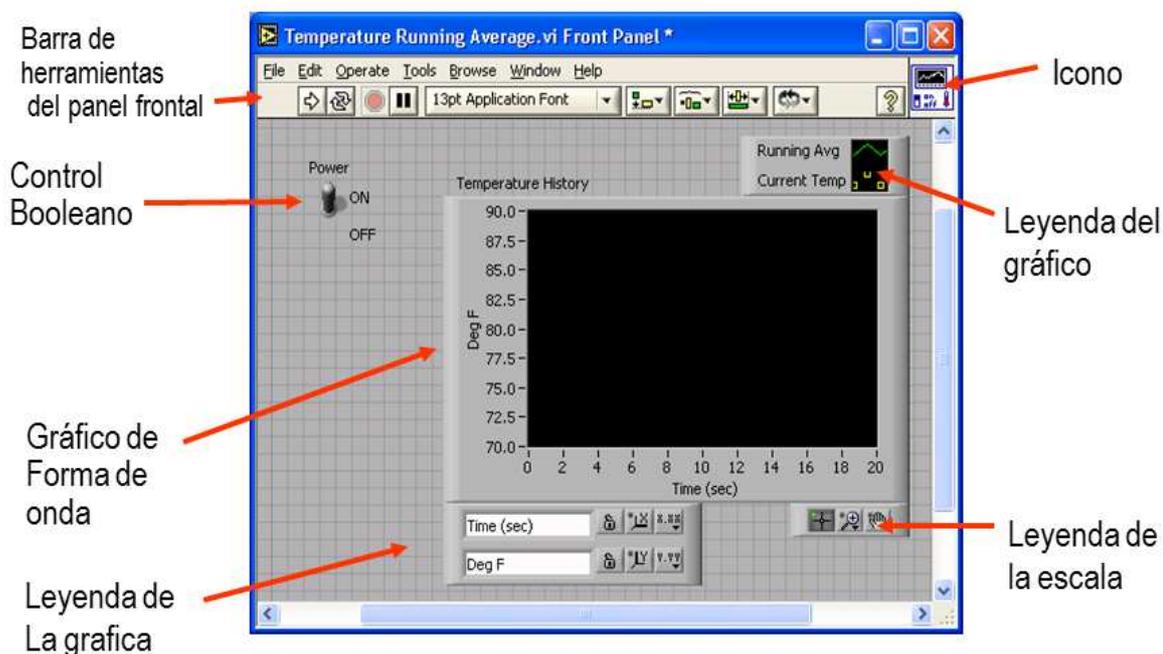


Figura 5.1: Panel frontal.

5.2.2. Diagrama de bloques.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si se tratara de un circuito. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, por los cuales fluyen los datos.

Labview posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

El diagrama de bloques muestra el programa en código gráfico G, se usan en este diagrama, estructuras de programación, y flujo de datos entre las diferentes entradas y salidas, a través de líneas de conexión.

Todos los indicadores y controles ubicados en el panel frontal están respaldados por un terminal de conexión en el diagrama de bloques tal como si se tuviera un tablero de control, donde por el frente se ven los indicadores y por el lado posterior se aprecian todos los cables y terminales de conexión.

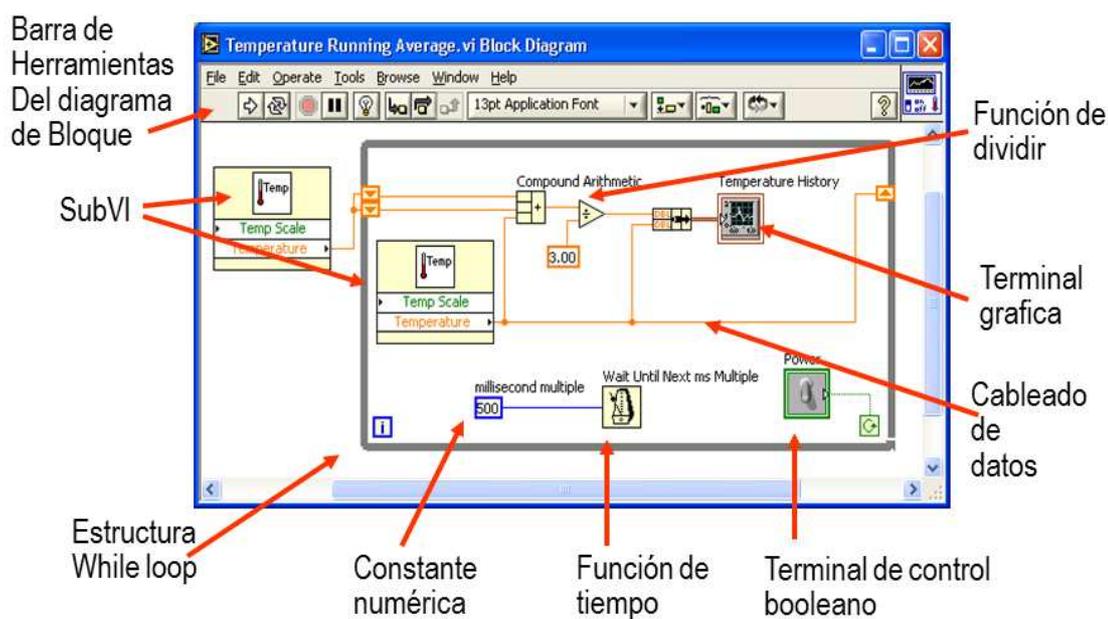


Figura 5.2: Diagrama de bloques

Los cables son las trayectoria que siguen los datos desde su origen hasta su destino, yasea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable tiene un color o un estilodiferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros.

5.2.2.1. Barra de herramientas.

Esta se sitúa en la parte superior de las dos ventanas, En el diagrama de bloques esta barra tiene algunas opciones más, a continuación se muestran los diferentes botones de la barra de herramientas.

El primer grupo de herramientas sirve para controlar la ejecución de un programa en Labview. La flecha indica si hay errores en el programa (flecha rota) y, cuando no los hay (flecha completa), ejecuta una vez el programa. El segundo botón ejecuta de forma continua el programa, como regla general este botón no debe usarse, en su lugar se empleará un bucle en el programa. El tercer botón aborta la ejecución y el cuarto permite realizar una pausa.



Figura 5.3: Botones para ejecución del programa.

El segundo grupo sirve para ayudar a su depuración. El primer botón es Highlight Execution, una de las herramientas más útiles para depurar, ralentiza la ejecución permitiendo ver el camino que siguen los datos en el programa. Los tres siguientes se utilizan para ejecutar el programa paso a paso.

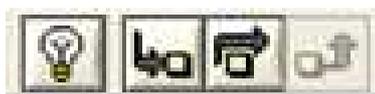


Figura 5.4: Botones para depuración.

El menú desplegable permite formatear textos, es recomendable usar los formatos predefinidos como Application Font o System Font.



Figura 5.5: Formato de texto.

El siguiente grupo se usa para alinear, distribuir, controlar el tamaño, agrupar y ordenar objetos.



Figura 5.6: Botones para ordenar objetos.

En la parte lateral derecha tanto del panel frontal como del diagrama de bloques aparece el icono que representa al VI. Tiene un menú contextual que permite acceder a sus diversas características.

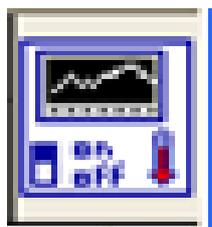


Figura 5.7: Icono del VI

5.2.3. Paletas de trabajo.

Para colocar funciones en el diagrama de bloques y terminales en el panel frontal se tienen las paletas, o menús flotantes, llamadas paleta de funciones y de controles respectivamente. Además también se tiene la paleta de herramientas que consta de diferentes utilidades.

Las paletas de funciones y controles se despliegan haciendo clic con el botón secundario del ratón sobre una zona vacía del diagrama de bloques o del panel frontal.

5.2.3.1. Paleta de funciones.

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se utilizan en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada-salida de señales, entrada-salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa etc.



Figura 5.8: Paleta de funciones.

Para seleccionar una función o estructura concretas, se debe desplegar el menú Functionsy elegirla entre las opciones que aparecen. Las funciones más importantes son:

- **Structures:** Muestra las estructuras de control del programa, junto con las variables locales y globales.
- **Numeric:** Muestra funciones aritméticas y constantes numéricas.
- **Boolean:** Muestra funciones y constantes lógicas.
- **String:** Muestra funciones para manipular cadenas de caracteres, así como constantes de caracteres.
- **Array:** Contiene funciones útiles para procesar datos en forma de vectores, así como constantes de vectores.
- **Cluster:** Contiene funciones útiles para procesar datos procedentes de gráficas y destinados a ser representados en ellas, así como las correspondientes constantes.
- **Comparison:** Muestra funciones que sirven para comparar números, valores booleanos o cadenas de caracteres.

- **Time & Dialog:** Contiene funciones para trabajar con cuadros de diálogo, introducir contadores y retardos, etc.
- **File I/O:** Muestra funciones para operar con ficheros.
- **Communication:** Muestra diversas funciones que sirven para comunicar varios ordenadores entre sí, o para permitir la comunicación entre distintos programas.
- **Instrument I/O:** Muestra un submenú de VIs, que facilita la comunicación con instrumentos periféricos que siguen la norma ANSI/IEEE 488.2-1987, y el control del puerto serie.
- **Data Acquisition:** Contiene a su vez un submenú donde puede elegirse entre distintas librerías referentes a la adquisición de datos.
- **Analysis:** Contiene un submenú en el que se puede elegir entre una amplia gama de funciones matemáticas de análisis.
- **Tutorial:** Incluye un menú de VIs que se utilizan en el manual Labview Tutorial.
- **Advanced:** Contiene diversos submenús que permiten el control de la ayuda, de los VIs, manipulación de datos, procesado de eventos, control de la memoria, empleo de programas ejecutables o incluidos en librerías DLL, etc.
- **Instrument drivers:** En él se muestran los drivers disponibles de distintos instrumentos.
- **User Libraries:** Muestra las librerías definidas por el usuario. En este caso, la librería mostrada contiene los drivers de la tarjeta de adquisición de datos de Advantech.
- **Application control:** Contiene varias funciones que regulan el funcionamiento de la propia aplicación en ejecución.
- **Select a VI:** Permite seleccionar cualquier VI para emplearlo como subVI.

5.2.3.2. Paleta de controles.

Se utiliza únicamente en el panel frontal. Contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario.

Posee indicadores, pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, etc., y controles que pueden ser booleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de éstos o una combinación de los anteriores.



Figura 5.9: Paleta de controles.

El menú Control de la ventana correspondiente al panel frontal contiene las siguientes opciones:

- **Numeric:** para la introducción y visualización de cantidades numéricas.
- **Boolean:** para la entrada y visualización de valores booleanos.
- **String&Table:** ingreso y visualización de texto.
- **List&Ring:** visualizar y/o seleccionar una lista de opciones.
- **Array&Cluster:** agrupa elementos.
- **Graph:** representa gráficamente los datos.
- **Path&RefNum:** para gestión de archivos.
- **Decorations:** para introducir decoraciones en el panel frontal. No visualizan datos.
- **UserControls:** elige un control creado por el propio usuario.
- **ActiveX:** transfiere datos y programas de unas aplicaciones a otras dentro de Windows.
- **Select a Control:** para seleccionar cualquier control.

5.2.3.3. Paleta de herramientas.

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos, que se encuentran en estos.



Figura 5.10: Paleta de herramientas.

Las opciones que presenta esta paleta son las siguientes:

- **Operatingtool:** cambia el valor de los controles.
- **Positioningtool:** desplaza, cambia de tamaño y selecciona los objetos.
- **Labelingtool:** edita texto y crea etiquetas.
- **Wiringtool:** une los objetos en el diagrama de bloques.
- **Object Pop-up Menutool:** abre el menú desplegable de un objeto.
- **Scrolltool:** desplaza la pantalla sin necesidad de emplear las barras de desplazamiento.
- **Breakpointtool:** fija puntos de interrupción de la ejecución del programa en VIs, funciones y estructuras.
- **Probetool:** crea puntos de prueba en los cables, en los que se puede visualizar el valor del dato que fluya por dicho cable en cada instante.
- **Color Copytool:** copia el color para después establecerlo mediante la siguiente herramienta.
- **Color tool:** establece el color de fondo y el de los objetos

5.3. Programación en Labview.

Con el entorno gráfico de programación de Labview se inicia a partir del panel frontal.

En primer lugar se definirán y seleccionarán de la paleta de controles todos los elementos de necesarios, estos son las entradas que dará el usuario y los indicadores, salidas que presentará en pantalla elVI los cuales se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla os resultados.

Una vez colocados en la ventana correspondiente al panel frontal todos los objetos necesarios, debe pasarse a la ventana diagrama de bloques, que es donde se realiza la programación propiamente dicha. Al abrir esta ventana, en ella se encuentran los terminales correspondientes a los objetos situados en el panel frontal, dispuestos automáticamente por Labview.

Se deben ir situando las funciones, estructuras, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

Para facilitar la tarea de conexión de todos los terminales, en el menú Help puede elegirse la opción Show Help, con lo que al colocar el cursor del ratón sobre un elemento aparece una ventana con información relativa a éste.

Además, si se tiene seleccionado el cursor de cableado, al situar éste sobre un elemento se muestran los terminales de forma intermitente.

5.4. Adquisición de datos en Labview.

Las tarjetas DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos del computador a otros aparatos, donde se conectan sensores, y actuadores, para interactuar con el mundo real. Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales o análogas, o simplemente conteos de ocurrencias digitales, tanto de entrada, como de salida.

Las tarjetas se comportan como si fueran un puerto más en el computador, y poseen todo un protocolo y sistema de manejo, por lo que entender cada tarjeta, como su funcionamiento, al igual que cualquier instrumento, requiere de tiempo y cuidado.

Existen tarjetas de alto y de bajo desempeño. Las de alto desempeño son programables, y facilitan altas tasas de manejo de información, pues son en cierta forma inteligentes y suficientes, y por tanto no comprometen mucho la velocidad y rendimiento del computador.



Figura 5.11:NI USB 6216 [12].

Las tarjetas de bajo desempeño requieren de un control directo del computador, y se ven limitadas por la velocidad de éste. Windows en cierta forma es un sistema operativo que no trabaja en tiempo real, para operaciones donde la tasa de muestreo es muy alta, como en aplicaciones de audio, radar, vibraciones y video, aunque para aplicaciones de lentitud considerable son aceptables, como en controles de hornos. En aplicaciones lentas Windows y tarjetas simples bastan porque los tiempos perdidos por el sistema de interrupciones de Windows (sea por mover el mouse o cualquier otra cosa) no afectan comparativamente.



Figura 5.12: NI USB 6009 [12].

Para aplicaciones de alta velocidad y tiempo real, se requiere de hardware especial, o sea tarjetas inteligentes, que se programen, y transfieran los datos a memoria, ya sea por rutinas de DMA (acceso directo a memoria), o por rutinas de interrupciones al procesador.

Las tarjetas como cualquier otro periférico, requiere de sus parámetros de programación, y hasta protocolos de comunicación, por lo que necesitan de un software Driver para su manejo.

Las ventajas que proporciona el empleo de Labview se resumen en las siguientes:

- La primera ventaja de usar Labview, es ser compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar a la vez con programas de otra área de aplicación, como Matlab o Excel. Además se puede utilizar en muchos sistemas operativos, incluyendo Windows y UNIX, siendo el código transportable de uno a otro.
- Otra de las ventajas es tener un lenguaje de programación que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos incluyendo adquisición de imágenes.
- Es muy simple de manejar, debido a que está basado en el sistema de programación gráfica, llamado lenguaje G.
- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y versátiles. Estos serían complicados de realizar en bases como C++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.
- Es un programa que contiene librerías especializadas para manejos de DAQ (tarjetas de adquisición de datos), redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con bases de datos (útil para una automatización de una empresa a nivel total).
- Como se programa creando subrutinas en módulos de bloques, se pueden usar otros bloques creados anteriormente como aplicaciones por otras personas.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.

5.5. Cálculo de la calidad del vapor.

Para determinar el valor de la calidad del vapor, se desarrolló un software con la ayuda del programa Labview, los pasos a seguir para utilizarlo son:

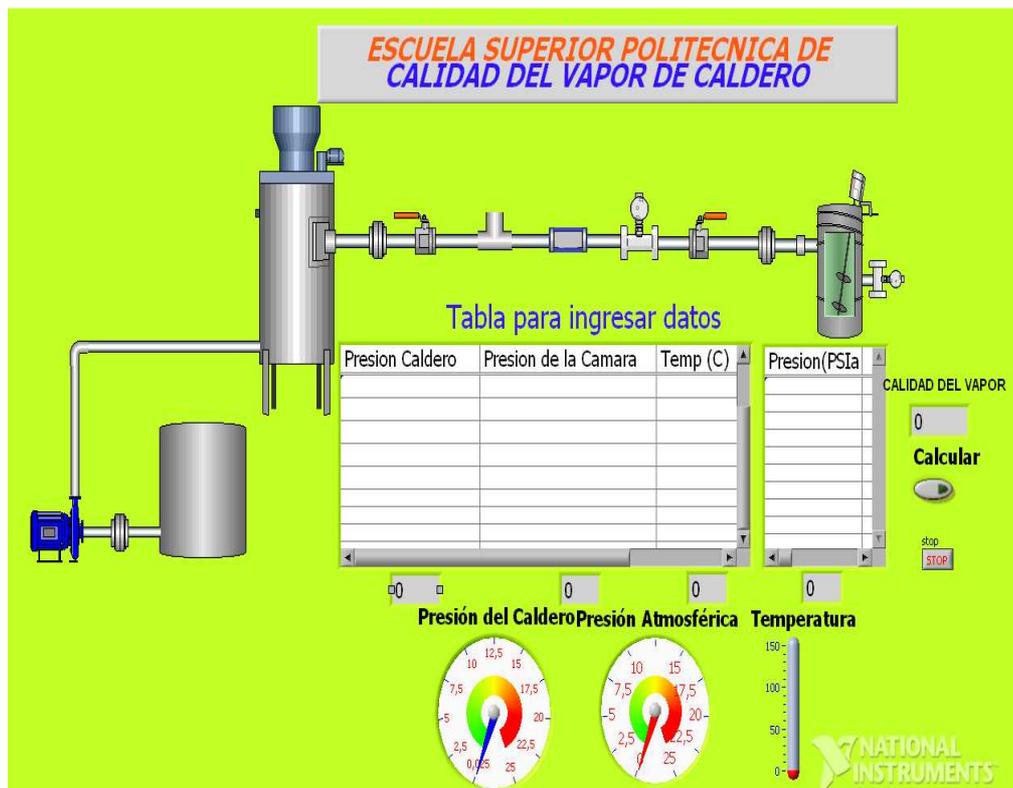


Figura 5.13: Programa para determinar la calidad del vapor.

Ingresar los datos obtenidos del manómetro de la caldera, la temperatura en la cámara de expansión mediante el termómetro de columna, y la presión atmosférica local a la que se encuentra el calorímetro, para obtener mejores resultados se ingresan ocho datos para encontrar un promedio con el cual se procederá al cálculo de la calidad.

Tabla para ingresar datos

Presion Caldero(PSIg)	Presion de la Camara (PSIa)	Temperatura
14	10,5	104
15	10,5	104
13	10,5	105
13	10,5	106
14	10,5	106
14	10,5	106
13	10,5	106
13	10,5	107

13,625 10,5 105,5

Figura 5.14: Tabla para ingreso de datos.

Los valores de los promedios se representan gráficamente con los instrumentos en pantalla.



Figura 5.15: Instrumentos.

En la siguiente figura, se muestra la presión absoluta del caldero a nivel local sumada a la presión manométrica, la presión atmosférica local, en este caso es 10.5 psi, de igual manera se obtiene un promedio de la presión para proceder con los cálculos.

Con los valores ingresados, se inicia el programa pulsando el botón Calcular ubicado en la pantalla del programa, para comenzar a obtener los valores de las tablas.

Presion(PSIa)
24,5
25,5
23,5
23,5
24,5
24,5
23,5
23,5

24,12

Figura 5.16: Presión absoluta de la caldera.

El valor obtenido del promedio la presión absoluta del caldero ingresa a la tabla de datos del caldero mostrado en la figura 5.18, en la cual se va a determinar el valor de sus entalpías h_f y h_{fg} , este valor promedio se compara con los valores de presión de la tabla y en caso de no ser el mismo, estos se interpola con los valores inferior y superior inmediatos.

Presion	hf	hfg
1	69,7	1036,1
2	94	1022,1
3	109,4	1013,2
4	120,9	1006,4
5	130,2	1000,9
6	138	996,2
7	144,8	992,1
8	150,9	988,4
9	156,3	985,1
10	161,3	982,1
11	165,8	979,3
12	170,1	976,6
13	174	974,2

24 206,2 953,6

25 208,5 952,1

206,487 953,413

Figura 5.17: Tabla de datos de entalpia dela caldera.

A continuación con el promedio de la temperatura y la presión de la cámara de expansión se determina el valor de la entalpia h_2 , para encontrarlo se compara el valor de la presión ubicada en la primera fila y la temperatura que se encuentra en la primera columna, estos valores se visualizan en la figura 5.19, con éstos dos valores se determina la entalpia h_2 , en el caso de que no coincidan con los de la tabla, el programa realiza la doble interpolación necesaria para obtener la entalpia.

Table 4

C	10	11	12	13	14	15
93,3	1146,6	1146,2	168,1	168,1	168,1	168,1
98,9	1151,3	1150,9	1150,5	1150,2	1149,8	178,2
104,4	1156	1155,7	1155,3	1155	1144,6	1154,2
110	1160,8	1160,4	1160,1	1159,8	1159,4	1159,0
115,6	1165,5	1164,8	1164,8	1164,5	1164,2	1163,9
121,1	1170,2	1169,9	1169,6	1169,3	1169	1168,7
126,7	1174,9	1174,6	1174,3	1174	1173,8	1173,5
132,2	1179,6	1179,3	1179,1	1178,8	1178,5	1178,3
137,8	1184,3	1184	1183,8	1183,5	1183,3	1183
143,3	1189	1188,7	1188,5	1188,3	1188	1187,8
148,9	1193,7	1193,2	1193,2	1193	1192,8	1192,8

104,4 1156 1155,7

110 1160,8 1160,4

Figura 5.18: Tabla entalpia vapor recalentado.

Con los valores de las entalpias: h_f , h_{fg} y h_2 , se determina el valor de la calidad.

Para ingresar nuevos valores en el programa, se utiliza el botón *Stop* para detener el programa; luego se procede a calcular nuevamente.

En la figura 5.20, se muestra el valor calculado de la calidad, utilizando datos obtenidos en el laboratorio.



Figura 5.20: Calidad del vapor.

El diagrama de bloques utilizado para realizar el programa, se muestra en la figura 5.21, aquí se puede encontrar los distintos elementos utilizados para realizar: las interpolaciones, las tablas de ingreso de datos, las condiciones que comparan los datos ingresados y los ubican con los valores correspondientes de entalpia, los cuales se utilizaron para el cálculo.

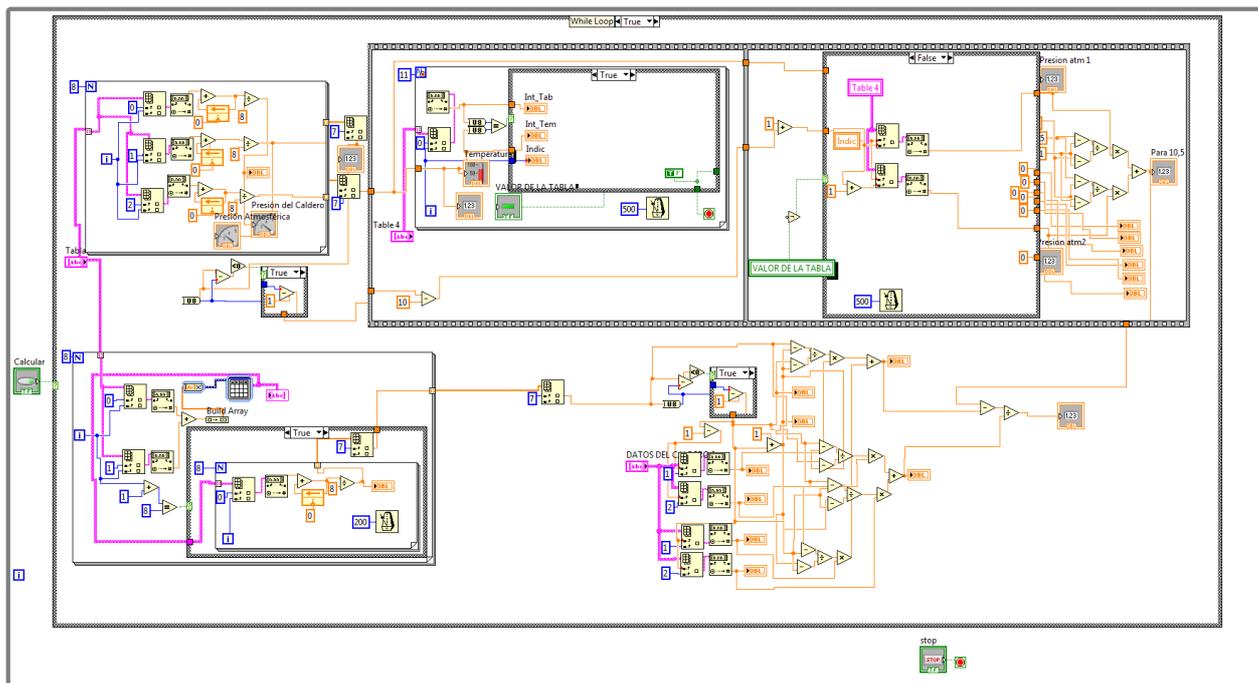


Figura 5.21: Diagrama de bloques del programa.

CAPÍTULO VI

6. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE LABORATORIO, FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

6.1. Guía del laboratorio de termodinámica [13].

6.1.1. Tema: Evaluación de la calidad del vapor.

6.1.1.1. Introducción.

Esta práctica de laboratorio permite determinar la calidad del vapor producido en un Generador de Vapor o Caldera. El calorímetro a utilizar es el de estrangulamiento. El calorímetro de estrangulamiento se fundamenta en la expansión adiabática irreversible del vapor, la cual ocurre sin realizar trabajo externo, por lo que la energía del vapor (entalpía) se recupera al final del proceso. Las pérdidas de calor por convección deben reducirse al mínimo, por lo que, los elementos que transportan el vapor deben estar aislados térmicamente.

6.1.1.2. Objetivos.

- Conocer y utilizar los equipos, instrumentos y procedimientos involucrados en la obtención de la calidad de un vapor de agua.
- Comprender el funcionamiento de un Generador de Vapor, como se produce el vapor y cuál es la utilidad de un proceso adiabático irreversible.
- Determinar la calidad del vapor de agua, utilizando las ecuaciones, diagrama de Mollier y conceptos desarrollados en clase.
- Conocer con la aplicación tecnológica a partir del concepto científico.

6.1.1.3. Equipos y materiales.

- Generador de vapor (caldero).
- Calorímetro de estrangulación.
- Cronometro.
- Hoja guía para toma de datos.
- Computadora.

6.1.1.4. Esquema.

6.1.1.5. Marco teórico.

Un proceso de expansión adiabática, en el cual toda la energía se disipa en forma de calor irreversible y sin realizar trabajo externo, es el denominado Proceso de Estrangulamiento. En estas condiciones la entalpia del vapor inicial (húmedo), se recupera al final del proceso, por lo que $h_1 = h_2$.

Si el estado del vapor al final del proceso es recalentado, este principio se utiliza para el desarrollo del llamado Calorímetro de Estrangulación, el mismo que consiste en dejar pasar al vapor húmedo por un orificio, el cual lo estrangula produciendo su expansión. En estas condiciones el vapor pasa a una cámara donde se puede evaluar su presión y su temperatura. Si la salida de esta cámara es a la atmósfera, la presión final será la atmosférica local. Los cambios de velocidad son despreciables.

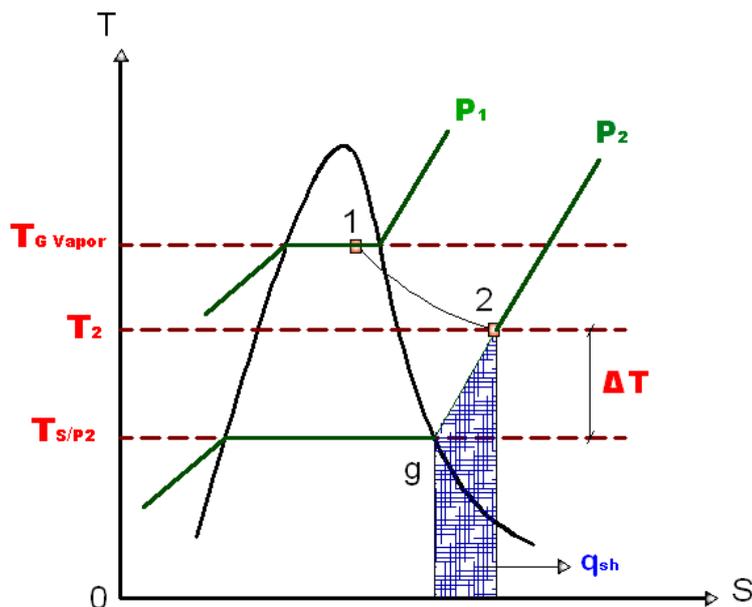


Figura 6.1: Diagrama S-T

Con la presión y temperatura conocidas, se puede obtener la entalpía h_2 en las tablas de vapor recalentado.

Pero antes de la expansión el vapor es húmedo, por lo que:

$$h_1 = (h_f + xh_{fg})_1 = h_2 \quad (A)$$

Los valores del punto inicial (1), se obtienen en las tablas de vapor saturado con el valor de la presión o temperatura del vapor húmedo antes de la estrangulación (condiciones a las cuales se requiere su calidad).

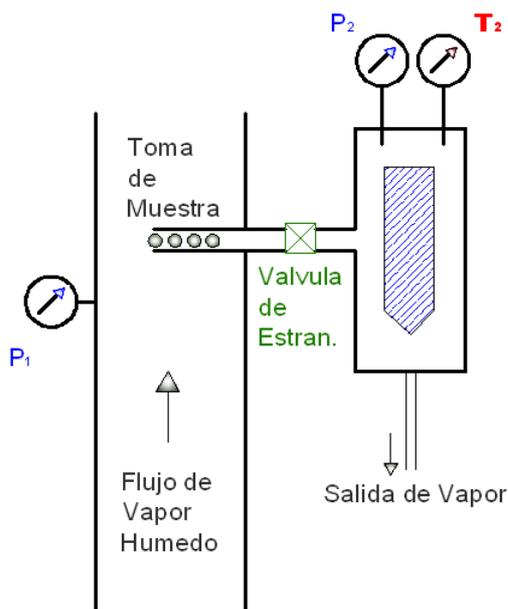


Figura 6.2: Esquema del calorímetro de estrangulamiento.

Como de ordinario se requiere el máximo grado de precisión, el cálculo puede simplificarse con el empleo del calor específico del vapor a presión constante.

En el diagrama s - T de la figura se observa que, para recalentar el vapor desde g hasta 2, se requiere un calor q_{sh} .

Considerando al vapor recalentado como un gas ideal, el calor requerido para recalentarlo (a presión constante) es:

$$q_{sh} = c_p \Delta T$$

El calor específico para el vapor se puede tomar como:

$$c_p = 0,48 \frac{Btu}{lb^\circ F} = \frac{Kcal}{kg^\circ C}$$

De modo que trabajando por unidad de masa se tiene:

$$q_{sh} = h_2 - h_{g2} = c_p \Delta T$$

De dónde:

$$h_2 = h_{g2} + 0,48 \Delta T \quad (B)$$

ΔT Son los grados de recalentamiento entre el punto g y 2.

$$\Delta T = T_2 - T_{s/p2}$$

Para que los resultados de la evaluación de la calidad sean confiables, hay que tener cuidado que:

$$\Delta T \geq 10^\circ C$$

De no cumplirse esta condición, hay que utilizar el calorímetro de separación.

Así, la entalpia en al final del estrangulamiento se la puede evaluar con la ecuación (A), o con la (B).

6.1.1.6. Procedimiento.

- Encendido de la caldera.
Para encender la caldera se debe seguir los siguientes pasos:
- Encender la bomba y el quemador con ayuda del selector de posición.
- Dejar transcurrir de 30 a 40 minutos para que la caldera alcance la presión seteada por el presóstato, en ese momento el quemador se apagará automáticamente.
- Abrir las válvulas de paso hacia el calorímetro con mucho cuidado.
- Dejar por unos minutos que la muestra de vapor circule por el calorímetro, y luego dejar que éste salga a la atmósfera. El vapor deberá tener el tiempo suficiente para conseguir un estado interno estacionario (presión y temperaturas estables).
- Tomar los datos de presión de operación de la caldera (estado inicial) de su respectivo manómetro.
- Adquirir las lecturas de presión y temperatura, de la cámara de expansión, mediante sus instrumentos.
- Se debe tomar datos en un intervalo de 5 minutos durante una hora, para obtener un valor más real.

6.1.1.7. Cálculos y resultados.

TABLA 6.1: DATOS DE LA CALDERO.

CALORÍMETRO TIPO: ESTRANGULAMIENTO					
Nº de datos	Tiempo (minutos)	Presión en el generador de vapor (psig)	Presión generador de vapor (psia)	Presión 2 (atmosférica) local (psia)	Temperatura 2 (°C)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

CÁLCULOS

Primer caso: encontrar la calidad con la ecuación A

$$h_1 = (h_f + xh_{fg})_1 = h_2$$

Segundo caso: halle la entalpia en el punto 2 con la ecuación B

$$h_2 = h_{g2} + 0,48\Delta T$$

Los valores para esta ecuación se obtienen de las tablas de vapor y de los datos promedio del calorímetro.

Con la entalpia hallada con la ecuación anterior, se obtiene la calidad del vapor, a través de la ecuación A.

6.1.1.8. Análisis y discusión de resultados.

- Ilustre el proceso de estrangulamiento que se obtuvo en la práctica utilizando un Diagrama de Mollier.
- Con la ecuación (A), halle la calidad con los datos del proceso graficado en el Diagrama de Mollier.
- Realice una tabla resumen de resultados de los cálculos realizados.
- Tomando como referencia la calidad calculada con la ecuación (A) y las tablas de vapor, calcule el error entre los resultados obtenidos con la ecuación (B) y el diagrama de Mollier.
- ¿Por qué se producen estos errores?

6.1.1.9. Conclusiones y recomendaciones.

6.1.1.10. Recomendaciones.

6.1.2. Mantenimiento de la caldera [20].

Para un buen funcionamiento de la caldera se debe realizar un apropiado mantenimiento. Éste es importante para una buena operación, el tratamiento del líquido es necesario para de esta forma evitar problemas a futuro en la caldera. Los pasos de operación del equipo son básicos para el buen funcionamiento, toda caldera es diseñada para operar bajo ciertas condiciones que no deben ser excedidas.

6.1.2.1. Tratamiento del líquido.

Siempre hay que tratar el líquido para evitar problemas de: corrosión, incrustaciones y hasta la rotura de los ductos. Los principales problemas debido a un mal tratamiento del líquido son:

- Se requiere mayor cantidad de líquido y gas.
- Sobre calentamiento de los ductos de vapor.
- Excesiva concentración de sales en el interior de la unidad.
- El vapor o condensado tiene algún tipo de contaminación.

Para aliviar de alguna manera este problema se debe, purgar el líquido de la caldera una vez terminado su trabajo, lo que evita las incrustaciones debido a una baja calidad del líquido.



Figura 6.3: Válvula de purga de la caldera.

Es aconseja no utilizar el agua por mucho tiempo o dejarla almacenada en el generador ya que esta crea incrustaciones y suciedades dentro, lo cual provoca los problemas antes mencionados.



Figura 6.4: Incrustaciones en los tubos de fuego.

6.1.2.2. Descripción y frecuencia del mantenimiento.

Limpieza: se debe limpiarlos ductos y superficies calientes del generador de vapor siempre y cuando se requieran.

Drenado: un generador de vapor no debe ser drenado a menos que haya acumulado una considerable cantidad de lodo o que el líquido se encuentre muy sucio.

Corrosión por Fuego: algunos combustibles contienen sustancias que pueden causar corrosión por fuego. Sulfuros vanadio y sodio son los principales elementos que causan este problema. La probabilidad de un problema con sulfuros, depende de la cantidad que se encuentre dentro del combustible así como el cuidado y limpieza que se le da a las superficies en contacto con este. Para prevenir este problema es importante mantener las superficies del generador de vapor secas cuando se encuentre fuera de servicio. Los depósitos de sodio y vanadio también causan corrosión.

Válvula de seguridad: debe ser probada cada 3 meses para obtener un buen funcionamiento del sistema.

Mantenimiento del alimentador y tubería de líquido: el sistema debe ser desmontado para verificar el funcionamiento del mismo, debe asegurarse que no existan obstrucciones, inspeccionarlas conexiones de acumulación de fango, etc., y limpiar si es necesario. Se debe examinar todo el cableado visible, que no se encuentre gastado y cerciorarse de que los contactos eléctricos estén limpios y funcionen correctamente.

Mantenimiento del generador de vapor: con respecto a las superficies calientes, limpiar el hollín, carbón y otro tipo de suciedades cada mes. Utilizar un cepillo de tubo para limpiar los ductos. Las superficies internas deben ser sopladas para remover sedimentos. En caso que los residuos de sales y lodos se encuentren muy pegados se deberá utilizar productos químicos.

Mantenimiento de ductos con fisuras: si un ducto de la caldera, tiene fugas debido a la corrosión, entonces esto quiere decir que los demás se encuentran oxidados. La caldera debe ser examinada y si es necesario cambiarlos. El uso de selladores no es muy recomendable para los generadores de vapor.

6.1.2.3. Frecuencias de mantenimiento.

Para mantener en buenas condiciones el equipo es necesario realizar un mantenimiento preventivo, aunque en los laboratorios no se realicen de manera frecuente se debe conservar en buenas condiciones los instrumentos y equipos.

6.1.2.3.1. Mantenimiento diario.

- Observe la presión y temperatura de operación.
- Nivel de líquido y condiciones generales.
- Determine la causa por cualquier ruido raro.
- Comprobar que las piezas del quemador se encuentren bien conectadas.
- Compruebe que los conductos de gas del quemador, estén libres de obstrucciones.
- Verificar que el sistema eléctrico del quemador se encuentre en buenas condiciones.

6.1.2.3.2. Mantenimiento semanal

- Probar el alimentador de líquido.
- Pruebe la calidad del líquido.
- Inspeccionar las luces piloto
- Inspección de la línea de gas y eléctrica general.

6.1.2.3.3. Mantenimiento mensual.

- Inspeccionar la válvula de seguridad.
- Probar los dispositivos de la detección de la llama.
- Probar los controles de límites y operación.
- Inspeccionar las válvulas de globo.
- Examinar los manómetros.
- Comprobar el funcionamiento de la bomba.

6.1.2.3.4. Mantenimiento trimestral.

- Revisión del quemador
- Examinar los ductos de gas para saber si se encuentra en buenas condiciones.

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS ECONÓMICO.

7.1. Generalidades [14].

En todo proyecto de diseño y construcción se debe hacer un estudio de costos desde la adquisición de la materia prima hasta el momento de obtener el producto final para de esta forma saber la factibilidad del proyecto.

7.2. Costos directos.

Son los costos que se puede asignar y medir de una manera razonable a un trabajo específico.

Se debe considerar todos los costos que afecten directamente a la elaboración del proyecto, como son costos por materiales, mano de obra, herramientas y transporte.

7.2.1. Costo de materiales.

Son los costos de adquisición de todos los materiales que con el tiempo se convierten en parte del objeto de costo y que pueden realizarse su seguimiento a ese objeto de costos en forma económicamente fiable.

Entre los costos de materiales se encuentran:

7.2.1.1. Control de nivel.

Tabla 7.1: CONTROL DE NIVEL.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Neplo	1/2in x 2in	5	0,67	3,35
Neplo	1/2in x 3 in	4	0,982	3,928
Neplo	1/2in x 4 in	1	0,598	0,598
Neplo	1/2in x 8 in	1	1,12	1,12
Neplo	3/4 in x 2 in	2	0,84	1,68
Bushing	3/4 in a 1/2 in	2	0,45	0,9
Unión	1/2 in	2	0,186	0,372
Universal	1/2 in	2	0,65	1,3
Tee	1/2 in	3	0,339	1,017
Tubo visor de nivel		4	2,1	8,4
Codo	1/2 in x 90°	5	0,313	1,565
Teflon	12m x 1/2 in x 0,08mm	3	0,25	0,75
Sicaflex	221-negro	1	5,28	5,28
TOTAL				30,26
TOTAL (+IVA)				33,8912

7.2.1.2. Automatización de la caldera.

Tabla 7.2: CONTROL AUTOMÁTICO.

DENOMINACION	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Control de Nivel	McDonell model 64	1	295	295
Sensor	PROBEP/CROW ARROW	2	5,66	11,32
Llave gas		1	21,071	21,071
Válvula gas	P/CROW/INS.COMPLETA	1	25,67	25,67
Módulo eléctrico	MODULO ELÉCTRICO TBK	1	21,03	21,03
Cañería cobre	300MM	1	4,911	4,911
Quemador	Calefón	1	22	22
Soporte de Sensor		1	4	4
Gabinete Metalica	30x30	1	27,8	27,8
Fusible	32 A	2	2,5	5
Contactador	GMC 12	1	18	18
Relay	110V 11Pines redondos assin	1	7,5	7,5
Borneras	P/Riel Din#6 JxB10/35	10	0,4	4
Canaleta	25x25 Gris Dexon	1	1,5	1,5
Luz Piloto	110V Camsco	3	1,8	5,4
Conector	1/4 NPT a 1/4 PTC	5	2,5	12,5
Cañería cobre	1/4 in	3	1,8	5,4
Selector	2 posiciones	2	3,5	7
Toma corriente	10A-110V	1	1,5	1,5
Preostato		1	35	35
Enchufe		1	3	3
Cable flexible	AWG 14	4	2,2	8,8
Cable flexible	AWG 12	1	0,28	0,28
Prensa Estopa		3	0,8	2,4
Cable de Bujia		2	1,5	3
Válvula doméstica de gas		1	4,8	4,8
Taipe		1	0,5	0,5
Teflón		1	0,25	0,25
Transformador	120 AC a 1,5 DC	1	4,25	4,25
Pernos		4	0,25	1
Tanque de Gas		1	2	2
TOTAL				565,882
TOTAL (+IVA)				633,78784

7.2.1.3. Sistema de ductos.

Tabla 7.3: SISTEMA DE DUCTOS.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Neplo	1/2 in x 20 in	1	2,462	2,462
Neplo	1/2 in x 5 in	1	0,65	0,65
Neplo	1/2 in x 12 in	1	1,55	1,55
Neplo	1/2 in x 15 in	1	1,98	1,98
Neplo	1/2 in x 4 in	1	0,598	0,598
Neplo	1/2 in x 3 in	4	0,982	3,928
Codo	1/2 in x 90°	2	0,313	0,626
Universal	1/2 in	2	0,65	1,3
Unión	1/2 in	1	0,186	0,186
Tee	1/2 in	1	0,339	0,339
Válvula globo	1/2 in	1	12,06	12,06
Válvula de bola	1/2 in	3	11	33
Sicaflex	221-negro	1	5,28	5,28
Teflón		2	0,25	0,5
Caños aislantes	ANO C/FOIL owens 1/2x1x9	3	4,29	12,87
TOTAL				77,329
TOTAL (+IVA)				86,60848

7.2.1.4. Cámara de expansión.

Tabla 7.4: CÁMARA DE EXPANSIÓN.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Tubo	5 in x 10 in	1	8	8
Tapas	diámetro 5in	3	4	12
Neplo 1/2 in x 3 in	1/2 in x 3 in	1	0,982	0,982
Cono	bronce 3/4 in	1	3,75	3,75
Termometro de columna	Cuerpo de bronce 0 - 200 °C	1	151,66	151,66
Manómetro	Glicerina 0 - 200 psi	1	10,54	10,54
Codo	1/2 in x 90°	1	0,313	0,313
Válvula	De bola	1	11	11
Bushing	1/2 in a 1/4 in	1	0,29	0,29
Aislante	Lana de vidrio C/Aluminio	2	3,3	6,6
lancha de acero Galvanizado	(80x80x0,1) cm	1	10	10
Espárragos		2	1	2
Teflón		1	0,25	0,25
Tornillos		8	0,11	0,88
Electrodos	Aga 6011	4	1,8	7,2
TOTAL				225,465
TOTAL (+IVA)				252,5208

7.2.1.5. Estructura metálica.

Tabla 7.5: ESTRUCTURA.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
Tubo estructural cuadrado	ASTM A36 - (30x2)mm	3	14	42
Electrodos	Aga 6011	2	1,8	3,6
Pintura	Espray Color negro	3	2,35	7,05
Lija para agua	# 180	2	0,32	0,64
TOTAL				53,29
TOTAL (+IVA)				59,6848

7.2.2. Costo mano de obra.

Tabla 7.6: MANO DE OBRA.

OPERARIO	Trabajo a realizar	Tiempo(h)	V. Unitario	V. total
1	Soldador	10	4	40
1	Eléctrico	4	6	24
1	Tornero	1	3	3
1	Pintor	1	4	4
1	Maestro Mecánico	1	5	5
TOTAL				76

7.2.3. Costo equipos y herramientas.

Tabla 7.7: EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
Cantidad	Especificaciones	Tiempo(h)	V. Unitario	V. Total
1	Suelda Autogena	1	3	3
1	Suelda Electrica	9	2	18
1	Cortadora de acero estructural	2	5	10
1	Embaroladora	1	3	3
1	Taladro	2	1	2
1	Llaves de toda medida	10	0,5	5
1	Torno	1	2	2
TOTAL				43

7.2.4. Costo por transporte.

Tabla 7.8: TRANSPORTE.

Movilización de los materiales	V. Transporte
Compra de materiales	40
Entrega de materiales	5
Transporte del Equipo	25
Otros	10
TOTAL	80

El valor total por costos directos es:

Tabla 7.9: COSTOS DIRECTOS.

Costos por:	V. Total (USD)
Materiales y accesorios	1066,49312
Maquinaria y equipo utilizado	43
Mano de obra	76
Transporte	80
Total (USD)	1265,49312

7.3. Costos indirectos.

Son aquellos costos que no pueden ser asignados con precisión, dentro de los costos indirectos se tiene:

- Costos de ingeniería
- Imprevistos
- Utilidades

7.3.1. Criterio de ingeniería.

Toma en cuenta el trabajo realizado por parte del profesional encargado de la investigación y diseño del equipo, el valor del criterio de ingeniería está en el rango del 10% al 15 % de los costos directos.

7.3.2. Imprevistos.

Para costos por imprevistos se consideró el 5% de los costos directos

7.3.3. Utilidades.

Se considera el 0% del costo del equipo, debido a que es un proyecto de Tesis de Grado. En caso de ser un trabajo particular debe tomarse en cuenta la asignación del valor correspondiente.

Tabla 7.10: COSTOS INDIRECTOS.

Detalle	Cantidad (%)	Valor (USD)
Criterio de ingeniería	10	126,549312
Imprevistos	5	63,274656
Utilidad	0	0
Valor (USD)		189,823968

7.4. Costos totales.

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 7.11: COSTOS TOTALES.

COSTOS	Total (USD)
Costos directos	1265,49312
Costos indirectos	189,823968
Total	1455,317088

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES.

- Con los datos obtenidos en el laboratorio, se evaluó una calidad del vapor de 99 % con una temperatura promedio en la cámara de expansión de 105 °C.
- El diferencial de temperatura obtenido es de 14 °C, con lo cual el valor de la calidad es confiable.
- Se selecciona lana de vidrio con un espesor de 1 pulga, porque este se ajusta a nuestras necesidades de aislamiento térmico, por su facilidad de adquisición, no poseer un elevado costo, y por no presentar dificultades en su instalación.
- Se selecciona un ducto de media pulgada cédula 40 ya que éste satisface nuestros requerimientos justificados por el cálculo.
- Los conceptos básicos de calidad y del proceso de estrangulamiento, analizados en la presente tesis servirán como fuente de consulta para elaborar el marco teórico del informe de laboratorio.
- Una parte importante en el desarrollo de esta tesis ha sido el uso del programa Excel, el cual facilitó las iteraciones necesarias para llegar a determinar los valores definitivos para el cálculo del espesor del aislante.
- Existe poca información bibliográfica sobre la construcción del calorímetro, pero con los conocimientos básicos de termodinámica, transferencia de calor, instrumentación y diseño de cilindros de presión, se logró diseñar y construir la presente tesis.
- El uso de Labview facilita en gran manera el cálculo de la calidad del vapor, presentando los resultados de una manera más didáctica y agradable a la vista, ya que su utilización es muy sencilla y práctica.
- La guía de laboratorio de la calidad del vapor elaborada permitirá al estudiante maniobrar la caldera y el calorímetro, para su capacitación en la cátedra de Termodinámica, por medio del cual podrá fortalecer sus conocimientos teóricos.

- La cámara de expansión en cuanto a su construcción se encuentra sobredimensionado con respecto a lo diseñado, esto se debe por la facilidad de la adquisición del tubo, y se evita el envarolar y soldar una plancha, con el espesor calculado y así evitar posibles fallas en la soldadura.

8.2. Recomendaciones.

- Es necesario conocer el proceso de obtención del vapor sus características y usos en la industria, y uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta es la calidad, ya que esta determina el buen funcionamiento de los equipos por lo tanto se debe utilizar trampas de vapor, un buen aislante térmico para evitar la condensación que produce una baja calidad del vapor.
- Se debe implementar el calorímetro de separación, con el fin de evaluar de forma más acertada la calidad del vapor.
- Se debería obtener más información acerca del funcionamiento y aplicaciones del Labview, ya que es un software fácil de utilizar y que puede tener muchas aplicaciones en la industria.
- Con una buena observación y el cuidado al momento de visualizar los instrumentos y tomar los datos, se garantiza que el cálculo de la calidad sea más confiable.
- Luego de terminada la práctica se debe retirar el vapor y el líquido que se encuentren en la caldera para mantenerlo en buenas condiciones al igual que la válvula de control de nivel como recomienda el fabricante.
- Se debe tener cuidado en caso de fugas de gas al momento de prender la caldera, en caso de existir una fuga se deberá cerrar la válvula de gas y ventilar el área para evitar accidentes.
- Incentivar más la investigación para diseñar y construir nuevos equipos e instrumentos que serán de gran ayuda en el laboratorio, para el aprendizaje en el área de termodinámica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] CALIDAD DEL VAPOR.

http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Steam_quality

[2] CAUSAS PARA UNA BAJA CALIDAD DEL VAPOR.

<http://www.tlv.com/global/LA/news/cospect-steam-quality.html>

[3] TRAMPAS DE VAPOR.

http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html.

[4] [CUSSONS TECHNOLOGY, Banco de vapor de calorímetros de estrangulamiento y separación, 2002.](#)

[5] TABLAS DE VAPOR.

<http://www.spiraxsarco.com/es/resources/steam-tables.asp>

[6] ALONSO GIRON, MOLINA INGARTUA, Calderas de vapor en la industria, 1^a ed. Bilbao, 1996.

[7] DÍAZ R. Máquinas y sistemas térmicos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

[8] ÁLVARO AGUINAGA BARRAGÁN, Válvulas compresores y bombas, 2005.

[9] EUGENE F. MEGYESY, Manual de recipientes a presión diseño y cálculo, 1^a ed. México. Editorial Limusa, 1989.

[10] VALENZUELA, R. Apuntes de Transferencia de Calor: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2003.

[11] OGATA, K, Ingeniería de control moderna, 3^a ed. Prentice-Hall, 1998.

[12] LAZARO M. Programación gráfica para el control de instrumentación Labview. 6^a ed. España. Editorial Paraninfo, 2001.

[13] ZABALA G. Guía de laboratorio termodinámica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

[14]BLANK, L. Ingeniería Económica. 4 ta ed. Colombia: McGraw-Hill. 2000.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVARO AGUINAGA BARRAGÁN. Válvulas compresores y bombas 2008.
- BLANK, L. Ingeniería Económica. 4 ta ed. Colombia: McGraw-Hill. 2000.
- CRANE. Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. 1ª.ed. México: McGraw-Hill. 1989.
- ÇENGEL Y. Transferencia de calor, 2ª ed. México McGraw-Hill. 2004.
- DÍAZ R. Máquinas y sistemas térmicos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- EUGENE F. MEGYESY, Manual de recipientes a presión diseño y cálculo, 1ª ed. México. Editorial Limusa, 1989.
- HOLMAN, J. Transferencia de Calor. 10^{ma} ed. México: McGraw-Hill. 1999.
- INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ta ed. México: Prentice Hall. 1999.
- LAZARO M. Programación gráfica para el control de instrumentación Labview. 6ª ed. España. Editorial Paraninfo, 2001.
- MOTT, L. Mecánica de Fluidos, 6ta edición, México: McGraw-Hill. 2006.
- OGATA, K, Ingeniería de control moderna, 3ª ed. Prentice-Hall, 1998.
- SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5ta.ed. México: McGraw-Hill. 1998.
- VALENZUELA, R. Apuntes de Transferencia de Calor: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2003.

VIZCAINO J. Labview entorno gráfico de programación. 1ª ed. España, Alfa Omega, 2007.

ZABALA G. Termodinámica. 2ª ed. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

LINKOGRAFÍA

CALIDAD DEL VAPOR.

http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Steam_quality

2011-01-29.

CAUSAS PARA UNA BAJA CALIDAD DEL VAPOR.

<http://www.tlv.com/global/LA/news/cospect-steam-quality.html>

2011-02-03.

TRAMPAS DE VAPOR.

http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html.

[2011-02-07.](#)

TABLAS DE VAPOR.

<http://www.spiraxsarco.com/es/resources/steam-tables.asp>

[2011-02-18.](#)

MCDONNELL Y MILLER

<http://www.venamet.com/venamet/aqualisv3/archivos/64.pdf>

[2011-03-10.](#)

GENERADORES DE VAPOR.

<http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad11.PDF>

[2011-04-05](#)

CONTACTORES.

<http://www.profesormolina.com.ar/electromec/contactor.htm>

[2011-04-20](#)

INTRODUCCIÓN AL LABVIEW.

<http://148.202.148.5/cursos/17721/ModuloIII/ModuloIIIabView.htm>

[2011-05-07](#)