

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA EL
BAÑO TURCO LOCALIZADO EN LA SEDE
RECREACIONAL DE CATAY

RONAL GERARDO FONSECA PÉREZ
SILVIO JOSÉ SIERRA LUNA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2004

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA EL
BAÑO TURCO LOCALIZADO EN LA SEDE
RECREACIONAL DE CATAY

RONAL GERARDO FONSECA PÉREZ
SILVIO JOSÉ SIERRA LUNA

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director

OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2004

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi Padre Celestial quien llena mi vida de amor y esperanza.

A mis padres, Sergio de Jesús y Ana Josefa quienes con su sacrificio y amor hicieron todo esto posible.

A mis hermanos Sergio Alonso Y Arnold Andres, por su apoyo incondicional.

A toda mi familia, amigos y compañeros que de alguna forma me apoyaron cuando mas lo necesitaba.

Ronal Gerardo Fonseca Pérez

DEDICATORIA

A Dios por la vida y sabiduría

A mis padres Silvio y Carmen por el cariño, amor, comprensión y confianza inquebrantable brindadas a través de esta etapa y de toda mi vida.

A mis hermanas Catalina y Paola con quienes mis años compartidos están llenos de alegría y amor.

A todos quienes comparten mi vida y me dan fortaleza para alcanzar nuevas metas.

Silvio José Sierra Luna

AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto desean expresar los más sinceros agradecimientos a:

A nuestro director Omar Gelvez, por la colaboración depositada en nosotros.

A los Ingenieros Humberto Cárdenas e Isnardo González por brindarnos la oportunidad y confianza de trabajar en este proyecto de grado.

A los Ingenieros Guillermo Figueroa y Gustavo Téllez por la gran colaboración prestada en la fase de construcción y montaje del proyecto.

A Janet Gómez por prestarnos atención en cada momento de este trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. BAÑOS TERMALES	2
1.1. GENERALIDADES	2
1.2. BAÑOS TURCOS	3
1.3. SAUNA	4
1.4. HIDROTERAPIA O JACUZZI	5
1.5. EI HIDROSPA	6
1.6. LOS BAÑOS DE AZUFRE	6
1.7. LA FANGOTERAPIA	6
1.8. LA AROMATERAPIA	7
1.9. LA THALASSOTERAPIA	7
2. SISTEMA GENERADOR DE VAPOR	8
2.1. INTRODUCCIÓN	8
2.2. QUE ES UN SISTEMA GENERADOR DE VAPOR?	8
2.3. SISTEMAS GENERALES QUE CONFORMAN A UN GENERADOR DE VAPOR	8
2.3.1. Unidad Generadora de Vapor	9
2.3.2. Sistema de Abastecimiento y Tratamiento de Agua	13
2.3.2.1. Aguas de las Calderas	13
2.3.2.2. Tratamiento de Agua	17
2.3.2.3. Alimentación de las Calderas	18
2.3.3. Sistema de Combustión	19
2.3.3.1. Regulador de Presión	20

2.3.3.2. Controlador de Limite de Presión de Gas	21
2.3.3.3. Válvula de Gas	22
2.3.3.4. Quemador	24
3. ELEMENTOS DE MEDICIÓN Y DE CONTROL DE LOS GENERADORES DE VAPOR	28
3.1. GENERALIDADES	28
3.2. ELEMENTOS INDICADORES Ó DE MEDICIÓN	28
3.2.1. Manómetro	28
3.2.2. Termómetro	30
3.2.3. Visor de Nivel de Agua.	32
3.2.4. Mecanismos de Seguridad de Llama	33
3.3. ELEMENTOS DE CONTROL	37
3.3.1. Tarjeta Controladora de Calderas	37
3.3.2. Control de Nivel de Agua	39
3.3.3. Presostatos	44
3.3.4. Control de Temperatura	46
3.3.5. Dispositivos de Ignición	50
3.3.6. Válvula de Seguridad	53
4. AISLAMIENTO TÉRMICO	54
4.1. INTRODUCCION	54
4.2. AISLANTES	54
4.2.1. Fibra de Vidrio	55
4.2.2. Poliuretano Expandido	55
4.2.3. Poliestireno Expandido	56
4.3. REFRACTARIOS	56
4.3.1. Concretos Refractarios Densos	57
4.3.2. Concretos Sílico – Aluminosos	57
4.3.3. Concretos de Alta Alúmina	58

4.3.4. Concretos de Bajo Cemento	59
4.3.5. Concretos de Ultrabajo Cemento	60
4.4. REFRACTARIOS AISLANTES	61
5. DISEÑO TÉRMICO	62
5.1. INTRODUCCIÓN	62
5.2. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE VAPOR	62
5.3. COMBUSTIBLE REQUERIDO POR LA CALDERA	63
5.4. QUÍMICA DE LA COMBUSTIÓN	64
5.4.1. Reacción	64
5.4.2. Relación Aire-Combustible	64
5.4.3. Aire Requerido por la Caldera	65
5.4.4. Temperatura de Llama Adiabática	65
5.5. CÁLCULO DE AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR	67
6. DISEÑO MECÁNICO	75
6.1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN	75
6.2. SELECCIÓN DE LÁMINA	75
6.2.1. Selección de Espesores de Lámina	76
6.3. ABERTURAS	77
6.4. AJUSTE VÁLVULA DE SEGURIDAD	78
7. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL GENERADOR DE VAPOR	79
7.1. GENERALIDADES	79
7.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO GENERADOR DE VAPOR	79
7.3. SISTEMAS QUE CONFORMAN EL GENERADOR DE VAPOR	81
7.3.1. Sistema de Vaporización de Agua	82
7.3.1.1. Cuerpo Principal	82
7.3.1.2. Placa Portatubos Superior	82
7.3.1.3. Placa Portatubos Inferior	83

7.3.1.4. Tubo de Humos	83
7.3.1.5. Intercambiador de Calor	83
7.3.1.6. Anillo	84
7.3.1.7. Cubierta Cuerpo	84
7.3.1.8. Cubierta Superior	85
7.3.1.9. Cámara de Combustión	85
7.3.1.10. Aislante Térmico	86
7.3.1.11. Chimenea	86
7.3.2. Sistema de Alimentación de Agua	86
7.3.2.1. Análisis de Agua	86
7.3.2.2. Filtro de Arena Silicea	90
7.3.2.3. Bomba de Alimentación de Agua al Tanque de Almacenamiento	91
7.3.2.4. Tanque de Alimentación Caldera	92
7.3.2.5. Bomba de Alimentación de Agua Caldera	92
7.3.3. Sistema de Combustible	94
7.3.3.1. Tanque Gas Propano	95
7.3.3.2. Válvula Reductora de Gas	95
7.3.3.3. Válvula de Bola Fija	95
7.3.3.4. Válvula Solenoide de Combustible	96
7.3.3.5. Quemador	97
7.3.4. Elementos de Medición	98
7.3.4.1. Manómetro	98
7.3.4.2. Termómetro	98
7.3.4.3. Visor de Nivel	98
7.3.4.4. Detector de Llama	98
7.3.5. Accesorios Diversos	99

8. SISTEMA ELÉCTRICO, DE CONTROL Y SEGURIDAD DEL GENERADOR DE VAPOR	100
8.1. INTRODUCCIÓN	100
8.2. ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	100
8.2.1. Panel de Control	100
8.2.2. Tarjeta Principal de Control Fireye “Honeywell S86h”	101
8.2.3. Control del Límite de Presión de Vapor	103
8.2.4. Control de Nivel de Agua	105
8.2.5. Control de Temperatura del Recinto	109
8.2.6. Válvula de Seguridad	109
8.3. SECUENCIA LOGICA	110
8.3.1. Secuencia de Encendido	110
8.3.2. Post-encendido	111
8.3.3. Regimen	111
8.3.4. Parada de Seguridad	112
9. PRUEBAS DE CAMPO	115
9.1. PRUEBA HIDROSTÁTICA	115
9.2. AJUSTE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE	115
9.3. PRODUCCIÓN DE VAPOR	117
9.4. EFICIENCIA DEL GENERADOR	118
9.5. CONTROL DE NIVEL DE AGUA	119
9.6. CONTROL DE PRESIÓN Y VÁLVULA DE SEGURIDAD	120
9.7. ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO	120
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA	124

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Caldera Piro tubular	10
Figura 2. Caldera Acuotubular	10
Figura 3. Diagrama de un Regulador Normal de Presión de Gas	21
Figura 4. Válvula de Gas Tipo Solenoide	22
Figura 5. Válvula de Diafragma	23
Figura 6. Válvula Motorizada Controlada por Calor	24
Figura 7. Manómetro Bourdon	29
Figura 8. Visor de Nivel de Agua.	33
Figura 9. Termopar	35
Figura 10. Dispositivo de Seguridad Bimetal	36
Figura 11. Bulbo Lleno de Líquido	37
Figura 12. Tarjeta Controladora de Calderas "Fireye"	39
Figura 13. Control de Bajo Nivel de Agua serie 63 Tipo Flotador Mcdonnell y Miller.	41
Figura 14. Control de Bajo Nivel de Agua tipo Probeta serie PS-800 Mcdonnell y Miller.	41
Figura 15. Combinación Alimentador de Agua Mecánico/Control de Bajo Nivel de Agua serie 47-2	43
Figura 16. Funcionamiento del Presostato	45
Figura 17. Elemento Bimetal	47
Figura 18. Bimetales Alargados	48
Figura 19. Control de Temperatura por Expansión del Fluido	49
Figura 20. Termopares	50
Figura 21. Válvula de Seguridad Típica	53
Figura 22. Balance de Energía de los Tubos de Humos	68

Figura 23. Emisividad de los Gases H ₂ O y CO ₂ a una Presión Total de 1 Atmósfera	69
Figura 24. Variación del Número local de Nusselt a lo largo de un Tubo en flujo Turbulento.	70
Figura 25. Variación del Flujo de Calor a lo largo del Tubo de Humos	74
Figura 26. Diámetro Máximo para una Abertura que no necesita Refuerzo	78
Figura 27. Modelo Generador de Vapor Baño Turco	79
Figura 28. Construcción Final Generador de Vapor Baño Turco	81
Figura 29. Placa Portatubos Superior	82
Figura 30. Placa Portatubos Inferior	83
Figura 31. Intercambiador de Calor	84
Figura 32. Cubierta Cuerpo	84
Figura 33. Cubierta Superior	85
Figura 34. Cámara de Combustión	85
Figura 35. Fibra de Vidrio	86
Figura 36. Elementos Principales Sistema Alimentación Agua	87
Figura 37. Filtro de Arena Silicea	92
Figura 38. Tanque de Alimentación Caldera	93
Figura 39. Bomba de Alimentación de Agua Caldera	93
Figura 40. Sistema de Combustible	94
Figura 41. Válvula Reductora de Gas	95
Figura 42. Válvula Solenoide de Gas	96
Figura 43. Quemador	97
Figura 44. Panel de Control	101
Figura 45. Controlador Fireye	102
Figura 46. Presostato tipo kpi 35	104
Figura 47. Control de Nivel de Agua Mcdonnell No 67	106
Figura 48. Niveles de Operación del Controlador de Nivel	108

Figura 49. Válvula de Seguridad	110
Figura 50. Cableado Esquemático de Control y Potencia del Generador de Vapor	113
Figura 51. Cableado Físico de Control y Potencia del Generador de Vapor.	114

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Selección del Controlador de Nivel tipo Flotador mas Apropriado.	44
Tabla 2. Temperatura de Llama Adiabática	66
Tabla 3. Temperatura de los Gases en el Transcurso de los Tubos de Humos.	73
Tabla 4. Espesor Mínimo Permisible para Láminas de Cuerpos de Material Ferroso.	76
Tabla 5. Especificaciones Técnicas del Generador de Vapor	80
Tabla 6. Reporte de Analisis de Agua de Abastecimiento Sede Recreacional	87
Tabla 7. Reporte de Análisis de Agua de Piscina Sede Recreacional	89
Tabla 8. Especificaciones de la Bomba de Abastecimiento al Tanque de Almacenamiento de la Caldera	92
Tabla 9. Especificaciones Bomba de Alimentación Agua Caldera	93
Tabla 10. Tanque Gas Propano	95
Tabla 11. Especificaciones Válvula Solenoide de Gas	97
Tabla 12. Especificaciones Motor del Quemador	98
Tabla 13. Controlador Fireye	102
Tabla 14. Terminales y Conexiones del Fireye	102
Tabla 15. Control Límite de Presión.	105
Tabla 16. Especificaciones del Control de Nivel de Agua Serie 67	107
Tabla 17. Contador de Gas Domiciliario	116

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Propiedades Físicas de los Combustibles Gaseosos
- ANEXO B. Propiedades Termodinámicas del Agua
- ANEXO C. Tablas para Cálculo de Emisividades
- ANEXO D. Diagrama para la Selección del Sistema de Nivel de Agua
- ANEXO E. Catálogo Motor del Quemador
- ANEXO F. Nema, Aislamiento Motores Eléctricos
- ANEXO G. Planos Corte Generador de Vapor
- ANEXO H. Planos Despiece Generador de Vapor

RESUMEN

TITULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA EL BAÑO TURCO LOCALIZADO EN LA SEDE RECREACIONAL DE CATAY*

Autores: Ronal Gerardo Fonseca Pérez
Silvio José Sierra Luna **

Palabras claves: Baño Turco, Generador de vapor, Combustión, Control.

Descripción:

Este proyecto fue financiado por ARPRUIS (Asociación Recreativa de Profesores de la UIS). El objetivo principal es diseñar, construir y montar un sistema de generación de vapor para el baño turco localizado en la sede recreacional de Catay.

El baño turco es un cuarto que se caracteriza por tener un clima cálido y húmedo y Para lograr obtener este tipo de medio, es necesario disponer de un sistema generador de vapor. El equipo tiene una capacidad de 50.000 BTU/hr a una presión de 5 psi. En cuanto al diseño mecánico, se realizaron los cálculos tomando como referencia la sección IV y VIII del código ASME. Se determinó la superficie de calentamiento, es decir, el dimensionamiento de la cámara de agua o cuerpo principal y por tal la longitud, el numero y la distribución de los tubos de humos. Se adaptó un sistema de control autónomo capaz de monitorear las variables de control para mantener los parámetros de diseño y operación del mismo, como son presencia de llama, nivel de agua, presión del vapor y temperatura del recinto.

Las pruebas realizadas demostraron la adecuada calibración de los dispositivos que controlan el generador, además el análisis del agua de alimentación tuvo gran importancia en lo que respecta a la vida útil del equipo.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Mecánica, Director: Omar A. Gelvez Arocha.

SUMMARY

TITLE: DESIGN, CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF A STEAM GENERATOR SYSTEM FOR TURKISH BATH IN (SEDE RECREACIONAL DE CATAY)*

Authors: Ronal Gerardo Fonseca Pérez
Silvio José Sierra Luna **

Key words: Turkish Bath, Steam Generator, Combustion and Control.

Description:

This project was financed by ARPRUIS (Asociación Recreativa de Profesores de la UIS). The main objective is to design, to build and to get ready a steam generator system for turkish bath in sede recreacional de Catay.

The Turkish bath is a place that is characterized to have warm and humid climate and for to be able to create this type of environment, is necessary to have a steam generator system. The equipment has the capacity of generate 50.000 BTU/hr with a pressure of 5 psi. For the mechanical design we did the calculations taking like reference the section IV and VIII of the ASME code. The heating surface was determined, that is to say, the measurement of the water chamber or main body such smoke tube's longitude, numbers and distribution . We adapted a autonomous control system capable of monitorear the control variables to maintain the design parameters and operation of the same one, like they plows flame presence, water level, steam pressure and room temperature.

The tests that we did demonstrated the appropriate calibration of this devices that make the generator control, furthermore the feeding water analysis also had great importance in what concerns the equipment useful life.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Mecánica, Director: Omar A. Gelvez Arocha.

INTRODUCCIÓN

La continua necesidad del hombre por encontrar medios que le puedan suministrar una variedad de estímulos para el cuerpo humano, y de esta forma recibir increíbles aportes terapéuticos, medicinales y de relajación para la salud, lo ha llevado a buscar alternativas para satisfacer sus necesidades, un medio que puede proporcionar estos beneficios saludables es el baño turco.

La asociación recreativa de profesores de la UIS “ARPRUIS”, cuenta en su sede recreacional de Catay, con las instalaciones necesarias y el recinto apropiado para conformar el sistema general del baño turco.

Este proyecto esta encaminado básicamente en diseñar, construir y montar el sistema de generación de vapor, adicionando los accesorios necesarios para cumplir con los requerimientos básicos de control, realizar pruebas y ajustes de campo para obtener un funcionamiento satisfactorio y de esta forma contribuir con el bienestar y el gusto de los afiliados pertenecientes a la asociación recreativa de profesores.

El diseño de estos equipos generadores de vapor se hace según la sección IV y VIII del código ASME para recipientes a presión, el cual es el procedimiento ingenieril más confiable y utilizado, puesto que garantiza un diseño bajo todas las normas y factores de seguridad.

1. BAÑOS TERMALES

1.1. GENERALIDADES

Desde los tiempos de la antigua Grecia, los baños termales fueron lugares para ir en busca de salud física y mental, pues se creía que el uso de las aguas minerales montañosas permitía la curación de tumores malignos y la revitalización del sistema nervioso.

Con el paso del tiempo, los científicos fueron descubriendo que algunas sustancias químicas como el azufre, el calcio, el litio, el hierro, el bromo, el yodo, el cloro, el magnesio, el potasio, el oxígeno, el bicarbonato, el sílice y el sodio poseían altas propiedades curativas que permitían mantener una vida sana y sin complicaciones futuras.

Hoy, para obtener un eficaz tratamiento de un sin número de enfermedades propias del cuerpo humano, existen diferentes formas de aplicación de estos componentes montañosos que van desde el simple baño de aguas termales, de azufre o de barro, hasta inhalaciones, vapores, hidromasajes, saunas, masajes corporales y tratamientos de Thalassoterapia.

A continuación se hará una descripción general de los diversos medios que suministran alguna forma de calor, como mecanismo para lograr temperaturas adecuadas para el cuerpo humano en pro de obtener relajación, estimulación y purificación generalmente.

1.2. BAÑOS TURCOS

El baño turco se caracteriza, a diferencia de la sauna, por el clima "cálido-húmedo": la temperatura en las habitaciones oscila entre los 45 a los 60 grados centígrados, temperatura muy elevada, que provoca una sudoración intensa. Como resultado, la piel se purifica a fondo. En la tradición, el baño turco debe siempre terminar con duchas de agua echadas con unos cubos, para eliminar los residuos de las impurezas.

Aunque los años han introducido cambios estéticos a estos baños, la premisa sigue siendo la misma. Las personas son expuestas a un cuarto de calor seco, siguen a un cuarto de calor húmedo que hace que la persona comience a sudar profusamente. Se lava posteriormente la piel con agua templada y jabón y un asistente masajea los músculos. Después de frotar y masajear a la persona, ésta debe nadar en agua fría para regresar el cuerpo a su temperatura normal.

➤ **El beneficio del baño turco.** Aparte del relax y la oportunidad de socializar, la verdad del baño turco es la de médico silencios debido a los increíbles beneficios para la salud que entrega cuando se usa de modo continuo.

Se cree que un baño de sudor puede ser una de las actividades más vigorizantes que una persona puede realizar en el día. El calor de un baño de sudor, o sauna causa una "fiebre" artificial dentro del cuerpo. Al subir la temperatura, se pone en funcionamiento cada órgano del cuerpo. Un ejemplo perfecto es la inducción de fiebre cuando alguien está enfermo. La fiebre es el modo del cuerpo humano para combatir descompensaciones internas. Es un mecanismo natural de defensa.

La actividad extra de los órganos crea una amplia y profunda limpieza del sistema desde adentro hacia fuera vía la piel. Estudios médicos recientes muestran que sometiendo al cuerpo a temperaturas de 50°C tiene efectos beneficiosos en la salud del cuerpo humano. Es bien sabido por otra parte que muchas bacterias y virus no sobreviven en esas temperaturas internas superiores a los 37°C del cuerpo, por lo que el propósito de fiebres autoinducidas por nuestro propio sistema cuando estamos enfermos es bastante obvio.

➤ **Sudoración.** Sudar sirve a tres propósitos esenciales para nuestra supervivencia: desintoxica el sistema y limpia al cuerpo de residuos; regula la temperatura interna del cuerpo y mantiene al órgano más grande del cuerpo limpio y reluciente.

La producción de sudor se estimula a través de las terminaciones nerviosas de toda la piel. Esta estimulación a su vez activa alrededor de 2.000.000 de glándulas ecrinas sudoríparas que se encuentran en la piel. Si bien 90% del sudor está compuesto por agua, el 10% restante está compuesto de material de residuo tales como sal, metales, ácido láctico, urea y otras toxinas que deben ser arrastradas fuera del sistema para optimizar su funcionamiento. La piel juega un papel importante en este proceso activo de remoción de residuos.

Una vez que el cuerpo comenzó a liberarse del exceso de residuos y toxinas vía sudor debe sucumbir a un agresivo masaje corporal de cuerpo entero.

1.3. SAUNA

El sauna es un elemento arquitectónico perteneciente al grupo de los baños de calor de inmersión total, donde el cuerpo se somete a la acción de las

ondas calóricas, en donde el organismo se expone a una temperatura superior a lo normal con el propósito de activar el funcionamiento de los sistemas termorreguladores del cuerpo. Estos corresponden a la vasodilatación del sistema cardiovascular y a la transpiración.

La diferencia obvia entre la sauna y el turco es la presencia de agua. El vapor es calor húmedo. La sauna es calor seco proveniente de piedras calentadas. Algunas personas ponen agua en el sauna para que el nivel de humedad no sea tan bajo. La humedad en los baños de vapor excede el 100%.

El calor en la sauna se origina de un generador de calor usualmente eléctrico con rocas en la parte superior. También hay saunas que usan madera o gas para mantener la temperatura. La temperatura se regula con el regulador o poniendo agua sobre las rocas (por supuesto esto no se hace en saunas eléctricas). La temperatura ideal es de 48 a 65 grados centígrados (120 a 150 f). La humedad es solo del 10% al 30%.

➤ **Precauciones.** Tanto los baños de vapor como la sauna deben limitarse de 10 a 15 minutos. La sauna debe usarse con más moderación. Asegúrate de beber agua antes y después de cada baño. Nunca tomes estos baños después de beber alcohol o sin comida en el estómago. Algunos médicos no lo recomiendan para mujeres embarazadas y para personas con problemas de alta presión.

1.4. HIDROTERAPIA O JACUZZI

Cualquier bañera de hidroterapia puede hacer burbujas, pero sólo la marca Jacuzzi tiene el exclusivo dispositivo de hidroterapia, creado y patentado por

Jacuzzi Inc. , el cual succiona aire del medio ambiente inyectándolo en el centro del chorro del agua en un movimiento amplio y circular de diminutas burbujas homogéneas de gran poder. Este sistema caracteriza a los auténticos dispositivos de hidroterapia patentados exclusivamente por Jacuzzi.

1.5. EI HIDROSPA

Es un tratamiento que se da en una tina especial equipada con más de 100 chorros y minichorros de agua termal y aire aplicados simultáneamente en diferentes partes del cuerpo. Permite una total relajación de la persona, reduce los dolores reumáticos, estimula el sistema circulatorio y linfático y alivia la fatiga muscular.

1.6. LOS BAÑOS DE AZUFRE

Una de las principales características de este método radica en que se realiza en un jacuzzi con agua termal de azufre, con temperaturas entre 34 y 40 grados Celsius, y el cual estimula la circulación sanguínea, alivia malestares óseos y musculares, reduce el estrés, produce un estado de alta relajación y evita las afecciones de la piel.

1.7. LA FANGOTERAPIA

El magnesio y el fósforo, proveniente de los fangos volcánicos, soluciona problemas articulares (inflamación de articulaciones, absorción de edemas), musculares (al reponer magnesio y fósforo, se recuperan los niveles adecuados de energía, el músculo puede drenar el ácido láctico, recargar magnesio y entonces se reduce el dolor muscular), de la piel (psoriasis, Acné y prevención del envejecimiento cutáneo), la celulitis y flaccidez de la piel.

1.8. LA AROMATERAPIA

La aplicación de aceites aromáticos como el pomelo, el petitgrain, la lavanda, la mandarina, el jengibre, el geranio, el patchouli y el eucalipto relaja el cuerpo y la mente; alivia el insomnio, el resfrío, la congestión nasal, la fatiga, el agotamiento físico los dolores y las tensiones musculares; restaura el sistema nervioso; estimula el sistema digestivo y linfático; revitaliza la piel y purifica el sistema respiratorio; previene la atrofia de los huesos, ayuda a aumentar la producción de glóbulos rojos en el torrente sanguíneo y acelera el metabolismo en general.

1.9. LA THALASSOTERAPIA

Desde la antigüedad, las algas marinas han sido utilizadas con fines terapéuticos ya que contienen, prácticamente, todos los grupos vitamínicos (A, B, C, D, E, F y K) y reporta grandes beneficios para combatir la celulitis, reafirmar tejidos, prevenir estrías, aliviar dolores musculares y reumáticos, evita la formación de hematomas, regenerar tejidos en úlceras varicosas, mejorar y fortalecer el cabello dañado, cicatrizar heridas y eliminar el estrés.

2. ASPECTOS GENERALES DE LOS GENERADORES DE VAPOR

2.1. INTRODUCCIÓN

Como se habló en el capítulo anterior, el baño turco es un cuarto que se caracteriza por tener un clima cálido y húmedo. Para lograr obtener este tipo de medio, es necesario disponer de un sistema generador de vapor. En este y otros capítulos posteriores se hará énfasis en la descripción de todos los sistemas que lo conforman.

2.2. QUE ES UN SISTEMA GENERADOR DE VAPOR?

Los sistemas generadores de vapor son instalaciones industriales llamadas también calderas, que aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para diversas aplicaciones, en forma continua y en operación económica y segura.

Estos dispositivos están diseñados para transformar la energía química proveniente de combustibles, mediante la combustión, y transferirla a un fluido de trabajo de la manera más eficiente posible, para elevar su temperatura o producir un cambio de fase. Este fluido es comúnmente el agua, pero puede ser otro dependiendo de la aplicación.

2.3. SISTEMAS QUE CONFORMAN A UN GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor es un conjunto integrado de muchos sistemas, cada uno se encarga de realizar funciones específicas.

Los principales sistemas que conforman a un generador de vapor son:

- Unidad generadora de vapor.
- Sistema de tratamiento y abastecimiento de agua.
- Sistema de combustión.
- Elementos de medición y elementos de control.
- Aislamientos térmicos. No hacen parte de un sistema como tal, pero teniendo en cuenta su importancia se hará una notable descripción.

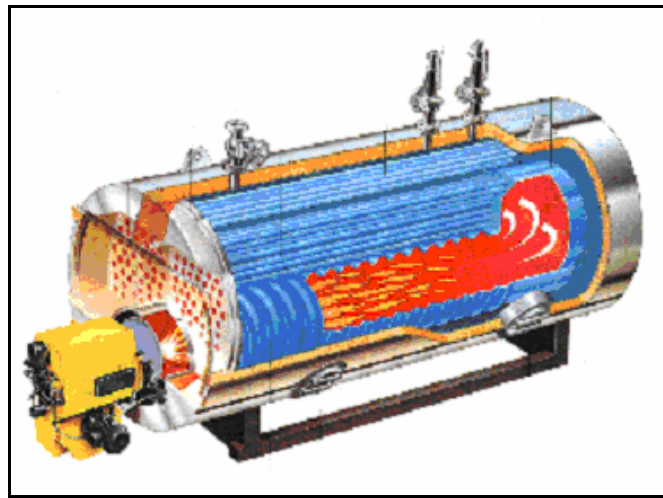
Los tres primeros sistemas se incluyen en este mismo capítulo. Los otros dos restantes en capítulos separados.

2.3.1. Unidad Generadora de Vapor. En la unidad generadora se pueden diferenciar un lado de gases calientes y un lado fluido de trabajo, encapsulados en un contenedor o casco.

En *las calderas piro-tubulares*, los gases de combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubo de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos, ceden calor, el cual se transmite a través de los tubos, y posteriormente al agua, ver figura 1.

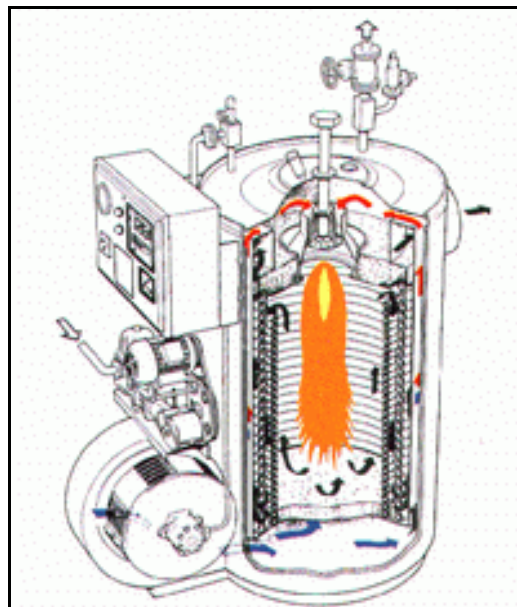
Todo lo contrario pasa en el *arreglo acuotubular*, la combustión tiene lugar en el hogar, liberando gases calientes alrededor de tubos de acero que contienen en su interior el fluido de trabajo, ver figura 2.

Figura 1. Caldera Piro-tubular



Fuente: Howstuffworks.How Steam Engines Work.htm

Figura 2. Caldera Acuotubular



Fuente: Howstuffworks. How Steam Engines Work.htm

La superficie de las paredes que por un lado están en contacto con los gases de la combustión, y por el otro lado están en contacto con el agua, se le

llama superficie de calefacción directa , y es aquella parte de la superficie de la caldera que recibe el calor del hogar o cámara de combustión principalmente por radiación, y se distingue de la superficie de calefacción indirecta, debido a que esta última está en contacto solamente con los gases de combustión.

La cámara de agua es la parte de la caldera que durante su marcha está llena de agua y está en contacto con los tubos de humos; debido a la gran cantidad de calor que en esta parte hay almacenada, dicha parte constituye un gran regulador de presión. En general se acepta que la cámara de agua puede ser bastante amplia para salida de vapor muy irregulares; por el contrario, una cámara de agua reducida favorece considerablemente la rapidez de la puesta en marcha.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua. Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 H de agua por cada m^2 de superficie de calefacción.

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

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

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy

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

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

El proceso de combustión requiere de un dispositivo que permita suministrar la mezcla de aire combustible adecuada, a la vez que contenga los elementos de control de llama. El quemador tiene una configuración determinada dependiendo del tipo de combustible que utilice y de su posición dentro del generador de vapor.

Además es necesario remover los productos de la combustión, lo cual se realiza a través de la chimenea. En algunos casos este proceso no se efectúa de manera natural y un ventilado de tiro forzado es requerido.

El contenedor o casco del cuerpo de la caldera debe tener orificios dispuestos para la entrada y salida de fluidos y para la instalación de dispositivos de control, además de orificios de purga, drenaje, visores. Estos orificios están provistos de boquillas roscadas o bridas, con el fin de realizar conexiones de tubería.

El agua de reposición puede suministrarse por gravedad o mediante una bomba de alimentación.

2.3.2. Sistema de Abastecimiento y Tratamiento de Agua. En este sistema primero se hará énfasis en lo relacionado a aguas de las calderas, como son: las impurezas de aguas, problemas ocasionados por las impurezas y el tratamiento adecuado del agua. Posteriormente se centrará en alimentación de calderas, como son: los medios de abastecimiento, válvulas, tuberías y disposición de vapor y purgas.

2.3.2.1. Aguas de las Calderas. Agua, nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno H_2O . El agua pura es un líquido incoloro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en las tres fases de la materia, o sea, sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha, y en las nubes formadas por cristales de hielo. Existe en estado líquido en las nubes de lluvia formadas por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación. Además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos. Como gas, o vapor de agua, existe en forma de niebla, vapor y nubes. El vapor atmosférico se mide en términos de humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada respecto a la máxima que puede contener a esa temperatura.

➤ **Impurezas.** Debido a sus características químicas es un un disolvente universal, por lo cual en la naturaleza se encuentra siempre impurificada. Las

impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines.

Las impurezas que puede llevar son:

- **Sólidos en Suspensión.** Son partículas mas o menos gruesas que arrastra el agua mecánicamente al contacto con el terreno por donde pasa. Estas materias se pueden eliminar fácilmente por medios físicos.
 - **Sólidos Disueltos.** Son sustancias contenidas en el agua de tamaños tan pequeños que es imposible verlas a simple vista. Estos cuerpos no se pueden separar por filtraciones y hay que recurrir a otros métodos diferentes como la desmineralización y descarbonatación.
 - **Materia Orgánica y Micro-orgánica.** Son sustancias no minerales que estando en la naturaleza al contacto con el agua pasan a ella en forma de sólidos suspendidos o disueltos que habitualmente dan color al agua.
- **Problemas Ocasionados por las Impurezas.** El agua utilizada en calderas es necesario que este exenta de impurezas hasta un grado que depende de las características de la caldera pero siempre suficiente para garantizar la conservación y buen rendimiento de la misma.

Las exigencias del agua de caldera en general, son mayores cuanto mayor sea la presión, temperatura, rata de vaporización, tipo de caldera y de si detrás de esta hay o no turbina.

A continuación se describirán los principales problemas que ocasionan las impurezas

- **Sólidos en Suspensión.** El principal problema que ocasionan los sólidos en suspensión es el de formar depósitos en el interior de la caldera pudiendo, por tanto, disminuir la circulación en los tubos, obstruir válvulas o incluso taponar los conductos, ocasionando en estos casos problemas grandes.

Si el agua de una caldera tiene sólidos en suspensión, su aspecto es opaco y es posible que si se toma una muestra de la misma se vea incluso partículas.

Para eliminar del interior de la caldera estas impurezas se tiene que hacer purgas de fondo, ya que la tendencia de las mismas es a depositarse en las partes bajas.

- **Sólidos Disueltos.** Los principales problemas de los sólidos que se encuentran disueltos en el agua de las calderas son:

- **Alcalinidad.** La forman una serie de compuestos que aumentan el PH del agua y que tienen que estar en unas proporciones adecuadas y entre unos valores máximos y mínimos especificados para cada tipo de caldera.

Un exceso de alcalinidad puede producir un ataque del material de la caldera conocido con el nombre fragilidad cáustica, o incrustaciones de carbonato de calcio si hay calcio en el agua. La presencia de CO_2 en el vapor es causa de corrosión.

Si hay poca alcalinidad, disminuirá el PH con riesgo de corrosión de las partes metálicas de la caldera.

- **Insolubilidad.** Uno de los principales problemas que presenta el agua con los sólidos disueltos es la insolubilidad y esta aumenta con mas temperatura, mas alcalinidad, mas CO₂
- **Dureza.** El calcio y el magnesio al combinarse con los carbonatos y los sulfatos, producen sales insolubles que se precipitan formando incrustaciones duras que quedan adheridas a los tubos de la caldera.

Los problemas que ocasionan son: disminuir el rendimiento de la caldera por disminuir la transmisión de calor a través de los tubos y el recalentamiento excesivo del material al actuar de aislante entre el tubo y el agua de circulación. Este recalentamiento puede llegar a quemar el material.

- **Cloruros.** En grandes proporciones son corrosivos.
- **Aceite.** La presencia de aceite origina espuma, obteniéndose una baja conductividad.
- **Sílice.** Produce incrustaciones muy duras en la caldera y se volatiliza con el vapor, ocasionando incrustaciones similares en al turbina descompensando los alabes de la misma.
- **Total de Sólidos Disueltos.** Los sólidos disueltos se determinan por evaporación, causando espumas. Producen corrosiones muy localizadas y profundas principalmente en las partes mas frías de la caldera.
- **Materia Orgánica y Microorganicas.** Son sustancias que en el interior de la caldera se descomponen por efecto de la temperatura y cuyos

productos de descomposición pueden producir ataques, espumas, lodos y arrastres.

2.3.2.2. Tratamiento de Agua. El agua de lluvia al caer puede absorber oxígeno, CO₂, nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire, y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos.

➤ **Objeto del Acondicionamiento del Agua.** Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- ✓ Eliminar las materias disueltas y en suspensión.
- ✓ Eliminación de los gases.

Todo esto es necesario, entre otras cosas para:

- ✓ Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento del agua.
- ✓ Proteger contra la corrosión los metales de las calderas, recuperadores y tuberías.

➤ **Procedimientos para el Tratamiento del Agua.** Se debe decir que no existe ningún procedimiento simplista ni producto químico apropiado para el tratamiento de todas las clases de aguas. Cada caso se debe considerar individualmente.

El proceso del tratamiento del agua incluye la separación de los detritos mediante cribas móviles o fijas, filtrado, separación de lodos y limos en

depósitos de decantación, calentamiento, vaporización o destilación, desaireación, tratamiento con cal apagada, tratamiento con carbonato sódico, tratamiento con ambos productos, con hidróxidos cálcico y bario, con fosfato trisódico, coagulantes, zeolitas (descalcificadores) y por ósmosis inversa. Hay veces en que se trata el agua fría y otras en que se necesita calor.

2.3.2.3. Alimentación de las Calderas

➤ **Medios de Alimentación.** Toda caldera de vapor debe estar provista por lo menos de dos aparatos de funcionamiento seguro para su alimentación, los cuales no deben depender de un mismo motor. En el caso de que haya varias calderas destinadas a un mismo objeto, se considera desde este punto de vista como una sola caldera.

Para la alimentación de calderas se emplean: bombas de émbolos, inyectores de chorro de vapor y especialmente para grandes instalaciones de calderas, bombas centrífugas accionadas por turbinas de vapor o por motores eléctricos.

Las dimensiones de los aparatos de alimentación deben calcularse de manera que cada uno de ellos o varios de ellos puedan inyectar en las calderas el doble de la cantidad de agua que corresponda a su capacidad de evaporación normal.

➤ **Válvulas y Tuberías de Alimentación.** En cada una de las tuberías de alimentación debe instalarse, lo más cerca posible del cuerpo de la caldera, una toma de agua de alimentación para que en caso de paro del aparato alimentador la tubería quede aislada de la presión de la caldera. Se procura mantener el nivel del agua de la caldera entre estrechos límites por medio del accionamiento automático de la válvula de alimentación. El

accionamiento de estos mecanismos automáticos se verifica por medio de flotadores, membranas o termostatos. A pesar del funcionamiento satisfactorio de estos aparatos, se ha de recomendar con mucha insistencia que el maquinista observe continuamente los aparatos indicadores del nivel de agua de la caldera.

➤ **Disposición de Vapor y de Purga.** Toda caldera debe estar provista de una válvula de cierre que permita aislarla de la tubería de salida de vapor. Solamente en caso especiales en que haya tuberías de fundición se exige que las válvulas de toma sean de cierre automático.

Toda caldera debe llevar una válvula de cierre entre la bomba de alimentación y el cuerpo de la caldera, aunque la válvula de alimentación sea de fácil cierre.

En la parte baja de la caldera y en un sitio fácilmente accesible y protegido de los gases de escape se dispondrá, para el vaciado, una válvula de cierre o un grifo, o ambas cosas a la vez, colocados en serie; la válvula mas próxima al cuerpo de la caldera. Esta última disposición es la queda mayor seguridad y la que permite, aun con construcción sencilla de los órganos de cierre, efectuar sin peligro alguno purgas en la caldera.

Las purgas del contenido de la caldera se puede llevar hasta la altura mínima del nivel del agua después de un paro de funcionamiento prolongado.

2.3.3. Sistema de Combustión. A pesar de su enorme importancia, los sistemas de combustión son uno de los procesos con posibilidades más limitadas de regulación y control. Mientras que la sofisticación y capacidades de los sistemas de control de procesos han mejorado de forma espectacular, las posibilidades de regulación y ajuste de los quemadores industriales

siguen siendo notablemente rudimentarias. En consecuencia, no se aprovechan los importantes beneficios que proporcionan los esquemas avanzados de control (incluyendo inteligencia artificial) en cuanto a optimización permanente del proceso, minimización de contaminantes, flexibilidad de operación.

La principal carencia en este campo es, posiblemente, la falta de información directa sobre el núcleo del proceso: la llama. Por este motivo, un objetivo fundamental es el desarrollo de instrumentación capaz de proporcionar información sobre las características de la llama, que al mismo tiempo haga viable su implementación en sistemas reales (por coste, fiabilidad y resistencia a las condiciones ambientales).

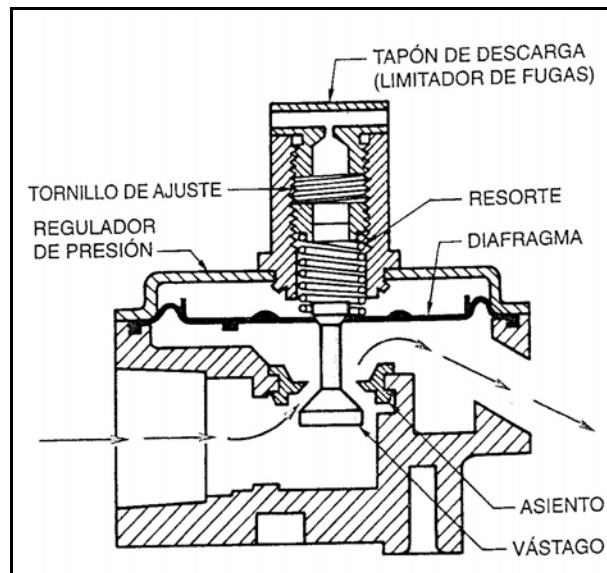
Los principales elementos que conforman el sistema de combustión son:

- Regulador de presión.
- Controlador de límite de presión de gas.
- Válvula de gas
- Quemador.

2.3.3.1. Regulador de Presión. La presión del gas natural de suministro no es siempre constante y, siempre, se encuentra a una presión mucho más alta de la que se requiere en el distribuidor. El regulador de gas hace bajar la presión al nivel debido y mantiene una presión constante a la salida cuando el gas circula hacia la válvula de gas. Muchos reguladores pueden ajustarse bajo una escala de muchas presiones. La presión aumenta cuando el tornillo de ajuste gira en el sentido de las agujas del reloj; disminuye cuando dicho tornillo gira en sentido contrario al de las agujas del reloj. Algunos de estos reguladores tienen posibilidades de ajuste limitadas y otros no admiten regulación alguna. Estos reguladores vienen fijados de manera permanente, o bien precintados, a fin de que no pueda llevarse a cabo ajuste alguno.

Los reguladores de gas licuado (GLP) están localizados en el tanque que suministra dicho gas, figura 3. Estos reguladores son facilitados por el propio expendedor del gas. Debe comprobarse con el suministrador la conveniente presión de salida de dicho regulador. En algunas zonas, el distribuidor suministra una presión mas elevada. El instalador debe entonces proveer un regulador a dicho elemento y ajustar la presión de acuerdo con la especificación del fabricante. Las instalaciones con gas licuado de petróleo no usan válvulas de gas con reguladores incorporados.

Figura 3. Diagrama de un Regulador Normal de Presión de Gas



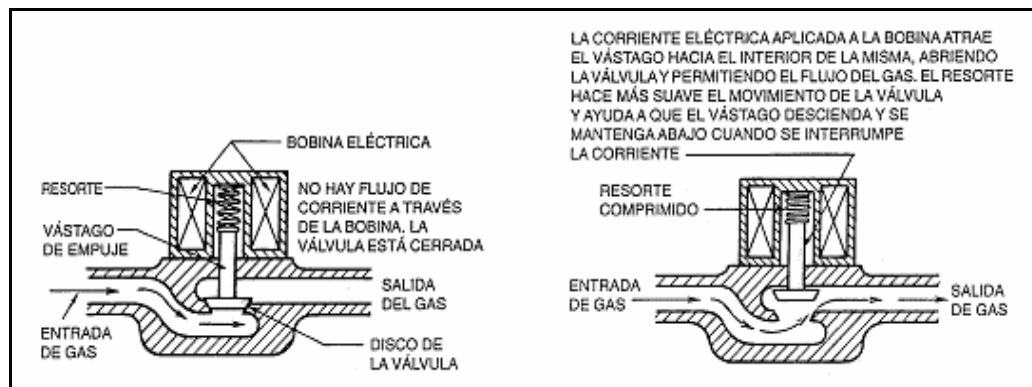
Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

2.3.3.2. Controlador de Límite de Presión de Gas. Son interruptores de corriente eléctrica accionados por presión. Se utilizan como seguridad para controlar la máxima o mínima presión límite de gas antes de ingresar a la válvula de gas. En el capítulo 3 se enuncia el controlador de límite de presión de vapor y por tal se describe el funcionamiento de estos accesorios en general.

2.3.3.3. Válvula de Gas. Desde el regulador se impele el gas hacia la válvula de gas. Existen varios tipos de válvulas de gas. Muchas van combinadas con válvulas pilotos conocidas entonces por válvulas de gas combinadas. Las válvulas generalmente se clasifican como de tipo solenoide, diafragma, o movidas por calor.

➤ **Válvula Solenoide.** La válvula de gas tipo solenoide es una válvula normalmente cerrada (NC). El embolo o núcleo móvil del solenoide se halla unido a la válvula haciendo la función de vástago de esta, ver figura 4. Cuando llega corriente eléctrica a la bobina, el núcleo móvil es atraído hacia el interior de esta, lo que comporta la apertura de la válvula. El vástago de empuje soporta la presión del resorte, por lo que, cuando se interrumpe la corriente, dicho resorte fuerza el vástago a su posición de cierre, cerrando el paso de gas.

Figura 4. Válvula de Gas Tipo Solenoide

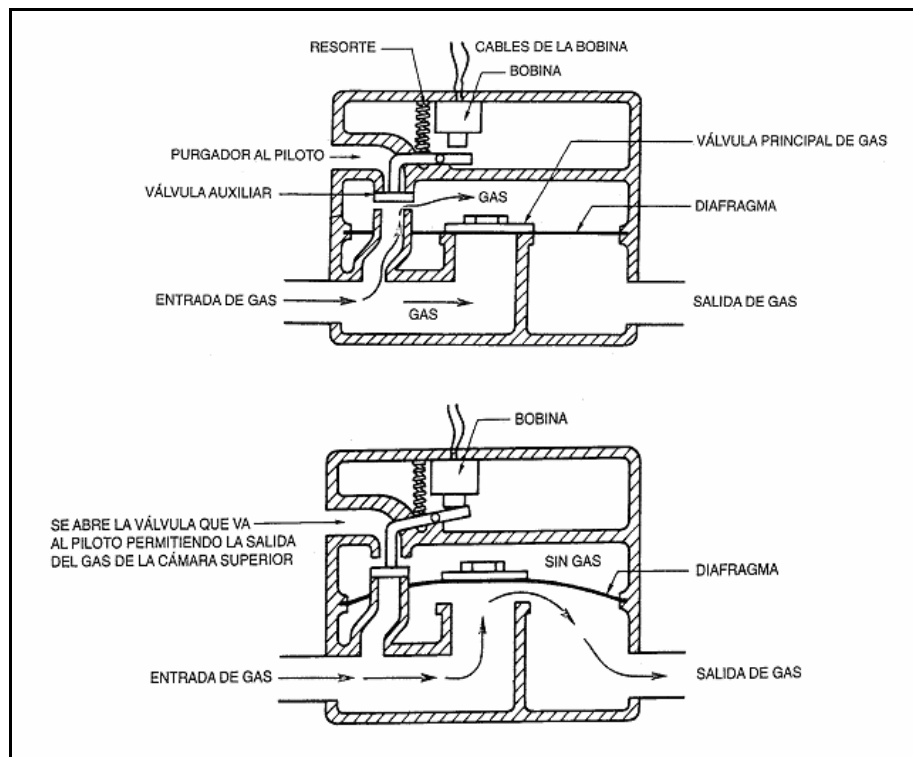


Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Válvula de Diafragma.** La válvula de diafragma utiliza la presión del gas a un lado del diafragma para abrir la válvula, figura 5. Cuando existe presión de gas sobre el diafragma y presión atmosférica debajo, el diafragma es empujado hacia abajo y se cierra la abertura de salida. Cuando el gas no se encuentra encima del diafragma la presión en la parte inferior de este lo

empuja hacia arriba y abre la válvula. Esta acción se realiza por medio de una válvula muy pequeña, llamada válvula auxiliar y tiene dos aberturas, una de las cuales permanece abierta mientras la otra se halla cerrada. Cuando la abertura que va a la cámara superior esta cerrada y no deja pasar gas a dicha cámara por encima del diafragma, se encuentra abierto el paso que se dirige hacia la atmósfera. El gas que ya se encuentra en esta cámara es purgado hacia el piloto donde es quemado. La válvula que regula el gas en la cámara superior funciona eléctricamente por medio de una pequeña bobina magnética.

Figura 5. Válvula de Diafragma



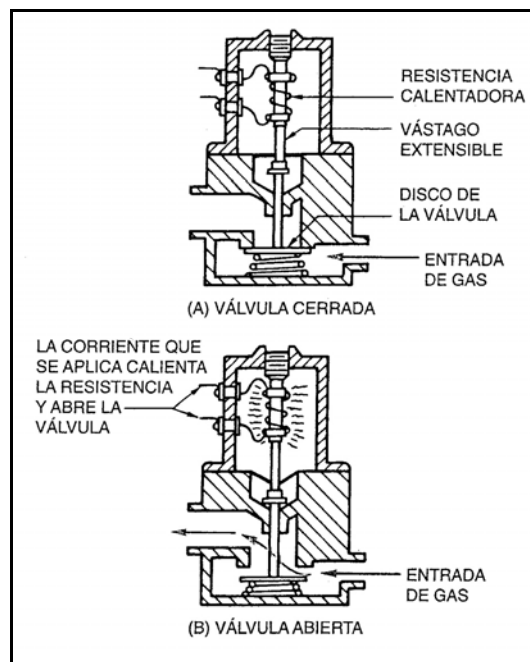
Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Válvula Motorizada Controlada por Calor.** En una válvula motorizada controlada por calor existe un hilo o resistencia de calentamiento que se arrolla en una varilla unida a la válvula, ver figura 6. Cuando el termostato

solicita calor, esta resistencia toma corriente y produce calor expansionando así el vástago. Al expansionarse, dicho vástago abre la válvula permitiendo que fluya el gas. Durante todo el tiempo que se aplica calor al vástago, la válvula permanece abierta. Cuando se interrumpe la corriente a la resistencia, por mediación del termostato, el vástago se contrae, cerrándose la válvula por medio de un resorte.

El vástago necesita un tiempo para expansionarse y contraerse. Este tiempo varia en cada modelo de válvula, aunque el promedio es de 20 segundos para la apertura y unos 40 segundos para el cierre.

Figura 6. Válvula Motorizada Controlada por Calor



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

2.3.3.4. Quemador. Es el órgano que permite realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable. Es decir, asegurar la aportación adecuada de ambos para

conseguir la potencia calorífica especificada y distribuyendo la zona de reacción y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga de manera eficiente el calor producido.*

Un quemador debe ser diseñado y construido para que cumpla durante su operación de manera óptima y eficiente las siguientes funciones:

- ✓ La cantidad de combustible gaseoso suministrado ha de ser el adecuado para alcanzar la potencia térmica especificada.
- ✓ Permitir la regulación de los caudales de aire y gas.
- ✓ Mezclar homogéneamente el gas y el aire, y conseguir que la mezcla se encuentre dentro de los límites de inflamabilidad.
- ✓ Garantizar una combustión higiénica.
- ✓ Garantizar la estabilidad de llama, es decir, impedir la ocurrencia de retrollama y desprendimiento de llama.
- ✓ Encausar el calor generado durante la combustión de tal forma que pueda ser transferido en la mayor cantidad posible a la carga.
- ✓ Dar a la llama un poder de radiación adecuado.
- ✓ Dar a la llama las dimensiones apropiadas a las del recinto donde se efectúa la combustión.
- ✓ Operar de manera silenciosa.

➤ **Clasificación de los Quemadores.** No existe una clasificación estándar de los quemadores de gas que sea universalmente aceptada. Son diversos los criterios asumidos para presentar una clasificación de estos. A continuación se describen algunos criterios:

* AMELL, Andres y BARRAZA, Lorenzo. Quemadores atmosféricos con llama de premezcla, Grupo de ciencia y tecnología del gas. Medellín 1994.

Según la presión de suministro:

- Quemadores de muy baja presión: presión de suministro menor o igual 0.1 bar.
- Quemadores de presión intermedia: cuando la presión de suministro es mayor de 0.1 bar y menor que la presión crítica.
- Quemadores de presión alta: cuando la presión de suministro es mayor que la presión crítica.

Según el punto de mezcla:

- Quemadores de mezcla previa: el gas y el aire primario se mezclan previamente en un mezclador antes de llegar a la zona de combustión. El aire secundario se aporta desde la atmósfera a la zona de combustión por difusión.
- Quemadores sin mezcla previa: en estos quemadores el aire y el gas son suministrados separadamente a la zona de combustión.

Según el suministro de aire:

- Quemadores de aire forzado: el aire es suministrado por medio de un ventilador.
- Quemadores de inducción:

Según presión de trabajo con respecto a la atmosférica:

- Quemadores atmosféricos: la combustión tiene lugar en una zona a presión atmosférica.
- Quemadores no atmosféricos: la combustión tiene lugar en cámaras herméticas.

3. ELEMENTOS DE MEDICIÓN Y DE CONTROL DE LOS GENERADORES DE VAPOR

3.1. GENERALIDADES

El control de una caldera es un conjunto de dispositivos electrónicos, eléctricos y electromecánicos que permiten a una caldera trabajar de modo automático y seguro. Estos dispositivos están distribuidos por toda la caldera, formando parte de diferentes sistemas, y son accionados por presión, temperatura, nivel de agua o corriente eléctrica.

En este capítulo se describirá la información necesaria para la comprensión estos elementos.

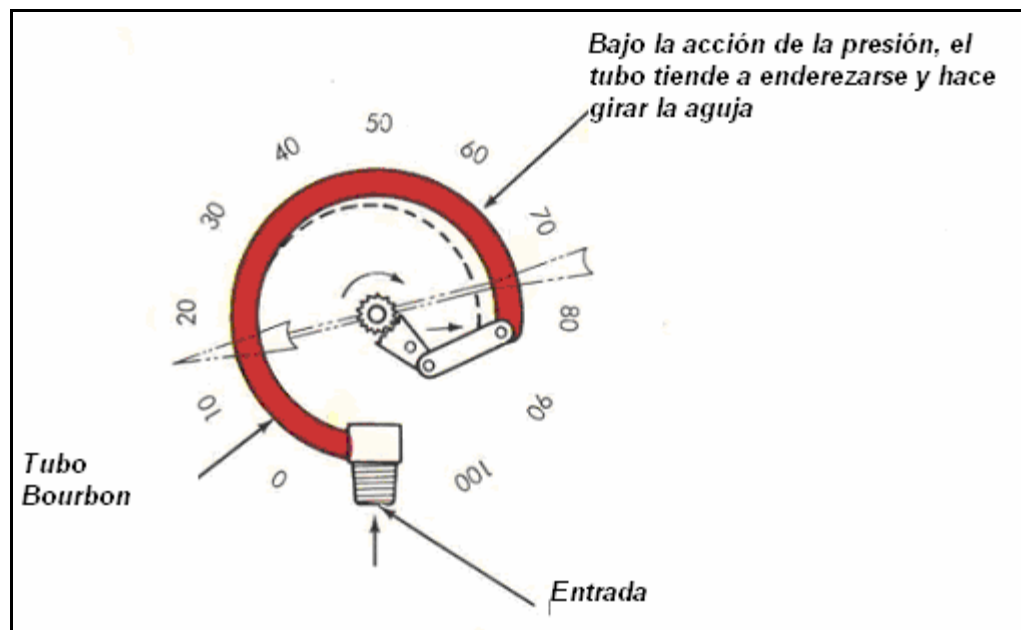
3.2. ELEMENTOS INDICADORES Ó DE MEDICIÓN

Los elementos de medición incluyen manómetros, visores de nivel de agua, termómetros, detectores de llama, los cuales miden los parámetros operativos de la caldera. Los parámetros de operación son aquellas propiedades medibles como son temperatura, presión, humedad, etc.. También se incluyen las mediciones de las variaciones de nivel de agua.

3.2.1. Manómetro. La mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Para pequeñas diferencias de presión se emplea un manómetro que consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El tubo contiene un líquido, como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del

líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local. Para diferencias de presión mayores se utiliza el manómetro de Bourdon, llamado así en honor al inventor francés Eugène Bourdon, ver figura 7. Este manómetro está formado por un tubo hueco de sección ovalada curvado en forma de gancho. Los manómetros empleados para registrar fluctuaciones rápidas de presión suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea.

Figura 7. Manómetro Bourdon



Fuente: Manual Sistemas Oleoneumáticos.

Como la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, hay que sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Una lectura negativa del manómetro corresponde a un vacío parcial.

Las presiones bajas en un gas (hasta unos 10⁻⁶ mm de mercurio de presión absoluta) pueden medirse con el llamado dispositivo de McLeod, que toma

un volumen conocido del gas cuya presión se desea medir, lo comprime a temperatura constante hasta un volumen mucho menor y mide su presión directamente con un manómetro. La presión desconocida puede calcularse a partir de la ley de Boyle-Mariotte . Para presiones aún más bajas se emplean distintos métodos basados en la radiación, la ionización o los efectos moleculares

3.2.2. Termómetro. Instrumento empleado para medir la temperatura. El termómetro más utilizado es el de mercurio, formado por un capilar de vidrio de diámetro uniforme comunicado por un extremo con una ampolla llena de mercurio. El conjunto está sellado para mantener un vacío parcial en el capilar. Cuando la temperatura aumenta, el mercurio se dilata y asciende por el capilar. La temperatura se puede leer en una escala situada junto al capilar. El termómetro de mercurio es muy utilizado para medir temperaturas ordinarias.

Hay varios tipos de dispositivos que se utilizan como termómetros. El requisito fundamental es que empleen una propiedad fácil de medir (como la longitud de una columna de mercurio) que cambie de forma marcada y predecible al variar la temperatura. Además, el cambio de esta propiedad termométrica debe ser lo más lineal posible con respecto a la variación de temperatura. En otras palabras, un cambio de dos grados en la temperatura debe provocar una variación en la propiedad termométrica dos veces mayor que un cambio de un grado, un cambio de tres grados una variación tres veces mayor, y así sucesivamente.

La resistencia eléctrica de un conductor o un semiconductor varía con la temperatura. En este fenómeno se basa el termómetro de resistencia, en el que se aplica una tensión eléctrica constante al termistor, o elemento sensor. Para un termistor dado, a cada temperatura le corresponde una resistencia

eléctrica diferente. La resistencia se puede medir mediante un galvanómetro que permite hallar la temperatura.

Para medir temperaturas entre -50 y 150 °C se utilizan diferentes termistores fabricados con óxidos de níquel, manganeso o cobalto. Para temperaturas más altas se emplean termistores fabricados con otros metales o aleaciones; por ejemplo, el platino se puede emplear hasta los 900 °C aproximadamente. Usando circuitos electrónicos adecuados, la lectura del galvanómetro se puede convertir directamente en una indicación digital de la temperatura.

Es posible efectuar mediciones de temperatura muy precisas empleando termopares, en los que se genera una pequeña tensión (del orden de milivoltios) al colocar a temperaturas distintas las uniones de un bucle formado por dos alambres de distintos metales. Para incrementar la tensión se pueden conectar en serie varios termopares para formar una termopila. Como la tensión depende de la diferencia de temperaturas en ambas uniones, una de ellas debe mantenerse a una temperatura conocida; en caso contrario hay que introducir en el dispositivo un circuito electrónico de compensación para hallar la temperatura del sensor.

Los termistores y termopares tienen a menudo elementos sensores de sólo uno o dos centímetros de longitud, lo que les permite responder con rapidez a los cambios de la temperatura y los hace ideales para muchas aplicaciones en biología e ingeniería.

El pirómetro óptico se emplea para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700 °C, cuando la mayoría de los restantes termómetros se fundiría. A esas temperaturas los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia. El color con el que brilla un objeto

caliente varía con la temperatura desde el rojo oscuro al amarillo y llega casi al blanco a unos 1.300 °C. El pirómetro contiene un filamento similar a un foco o bombilla. El filamento está controlado por un reóstato calibrado de forma que los colores con los que brilla corresponden a temperaturas determinadas. La temperatura de un objeto incandescente se puede medir observando el objeto a través del pirómetro y ajustando el reóstato hasta que el filamento presente el mismo color que la imagen del objeto y se confunda con ésta. En ese momento, la temperatura del filamento (que se puede leer en el reóstato calibrado) es igual a la del objeto.

Otro sistema para medir temperaturas, empleado sobre todo en termostatos, se basa en la expansión térmica diferencial de dos tiras o discos fabricados con metales distintos y unidos por los extremos o soldados entre sí.

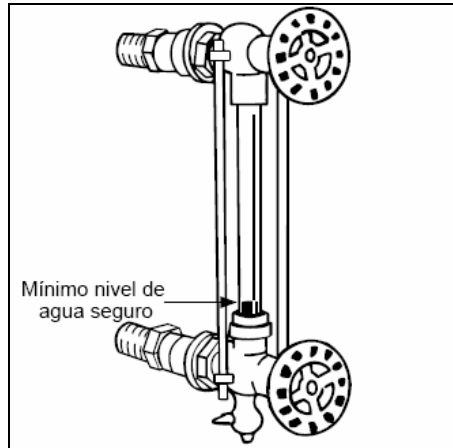
3.2.3. Visor de Nivel de Agua. Tanto las calderas para vapor como las calderas para agua caliente están equipadas con estos dispositivos. Esta operación se realiza con un examen visual del tubo de vidrio que esta conectado con el interior y tiene la longitud apropiada para proporcionar un rango seguro, ver figura 8. Si el nivel es suficientemente alto, el tubo estará parcialmente lleno. Si no se muestra agua en el tubo, la caldera se debe apagar y reponer el agua necesaria.

El nivel del agua apropiado de una caldera de vapor varía de fabricante en fabricante, pero generalmente podemos decir que es “normal” comenzar con el llenado manual de la caldera hasta los dos tercios del vidrio de nivel. A medida que la caldera funcione, el agua se convertirá rápidamente en vapor y saldrá del sistema.

Debemos recordar que se opera entre ciertos límites y no en un punto fijo. Si el agua permanece en la parte superior del vidrio de nivel mientras el

quemador está encendido, probablemente no se ha producido vapor. Así que la palabra “normal” es engañosa, porque lo único normal es que el nivel del agua debe subir y bajar.

Figura 8. Visor de Nivel de Agua.



Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

3.2.4. Mecanismos de seguridad de llama. El detector de llama tiene como función comprobar la existencia de combustión en el quemador de la caldera, para así evitar que en un momento determinado el escape sin ser quemado, acumulándose peligrosamente.

Las principales causas para que se produzca la falla de llama son las siguientes:

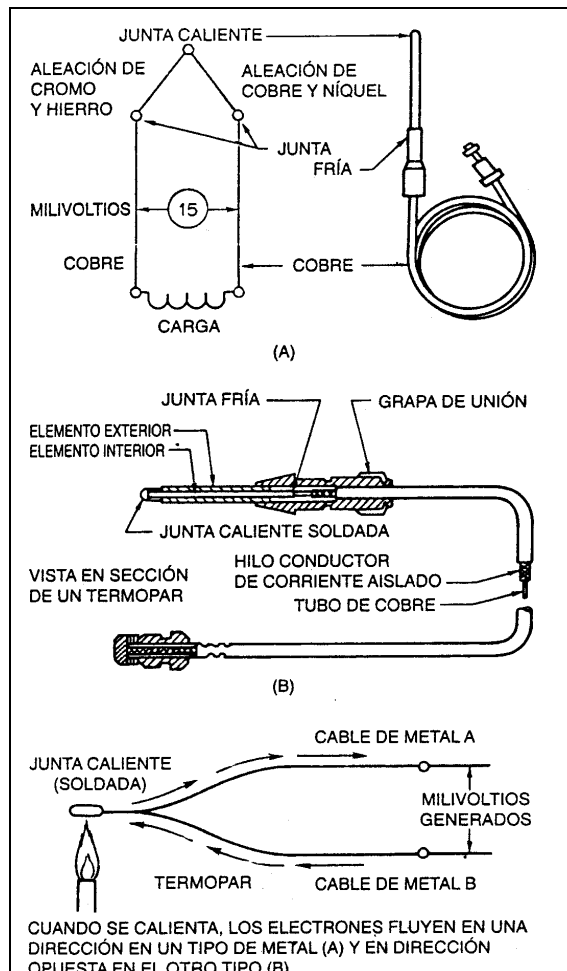
- ✓ El combustible y el aire no forman una mezcla homogénea.
- ✓ La fuente de ignición no tiene la energía suficiente para propagar la llama, situación que es frecuente cuando, sin tener en cuenta el tipo de quemador, se elige la fuente de ignición.

- ✓ La velocidad de flujo mayor que la velocidad de propagación, lo cual ocasiona desprendimiento de llama, la llama se va alejando de la boquilla hasta extinguirse.
- ✓ La velocidad del flujo menor que la velocidad de propagación, ocasionándose el fenómeno de retrollama.
- ✓ La llama sufre un cambio de condiciones tal que se llegue a enfriar a una temperatura inferior a la de ignición.
- ✓ El sistema de combustión va acompañado de tiro permanente o momentáneo, que provocaría de inmediato la inestabilidad de la llama, pudiéndose presentar explosiones.

Se mencionará cinco clases de dispositivos de seguridad, denominados dispositivos comprobadores de llama, que impiden que fluya gas a través de la válvula de gas si se apaga la llama. Estos son: el termopar o pila termoeléctrica, la tira bimetálica, el bulbo a distancia lleno con líquido, electrodo de ionización y detección de radiación ultravioleta.

➤ **Termopares y Pilas Termoeléctricas.** El termopar consiste en dos metales distintos soldados juntos en su extremo, figura 9. Cuando se calienta esta unión, genera un voltaje reducido a lo largo de los dos conductores o metales en el otro extremo. El termopar se conecta a la válvula de cierre. A medida que la corriente eléctrica pasa a la bobina, puede fluir gas. Si se apaga la llama, el termopar se enfriará en 30 segundos y la corriente no circulará cerrándose la válvula de gas. Una pila termoeléctrica consta de varios termopares conectados en serie para aumentar el voltaje. Si se utiliza una pila termoeléctrica, se obtiene la misma función de un termopar.

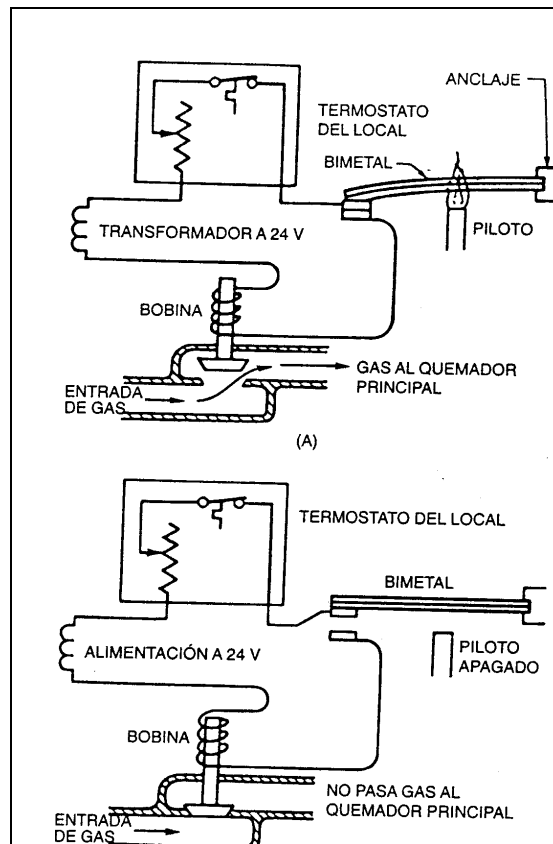
Figura 9. Termopar



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Dispositivos de Seguridad Bimetálicos.** En los dispositivos de seguridad bimetálicos, la llama calienta la lamina bimetálica, que cierra los contactos eléctricos conectados a la válvula de seguridad del gas, figura 10. A medida que la llama calienta el bimetálico, la válvula del gas permanece conectada y el gas fluye cuando se solicita. Cuando la llama se apaga, la lamina de bimetálico se enfría en unos 30 segundos y se endereza, abriendo los contactos y dando lugar al cierre de la válvula.

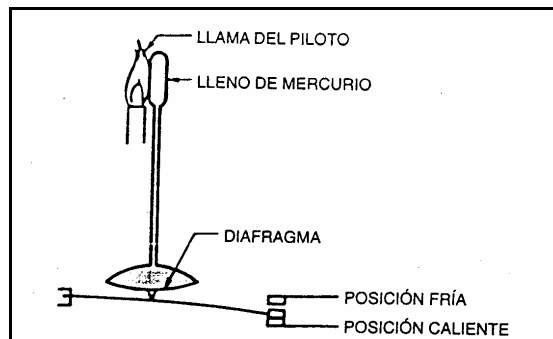
Figura 10. Dispositivo de Seguridad Bimetálica



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Bulbo a Distancia Lleno con Líquido.** El bulbo a distancia o remoto lleno de líquido incorpora un diafragma, un tubo y un bulbo, todo ello lleno de líquido que, normalmente es mercurio, figura 11. El bulbo remoto se sitúa para ser calentado por la llama. La llama calienta el líquido en el bulbo remoto. Dicho líquido se dilata, motivando con ello la expansión del diafragma que, a su vez, cierra los contactos conectados en la válvula de gas. A medida que persiste la llama, el líquido va calentándose abriendo con ello la válvula y permitiendo que fluya el gas. Si la llama se apaga el líquido se enfría en 30 segundos, contrayéndose, lo que da lugar a la apertura de los contactos eléctricos y al cierre de la válvula de gas.

Figura 11. Bulbo Lleno de Liquido



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

- **Electrodo de Ionización.** En los sistemas de ionización un gas muy caliente se ioniza, si se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos en el seno de la llama, se inducirá una corriente eléctrica en micro-amperios entre los puntos. Si la llama falla la corriente no fluirá.
- **Detección de Radiación Ultravioleta.** Todas las llamas emiten una pequeña cantidad de radiación ultravioleta. Los sensores de ultravioleta (UV) que son insensibles a la radiación visible e infrarroja, en ellos no existe la posibilidad de que sigan activados por otras causas al extinguirse la llama.

3.3. ELEMENTOS DE CONTROL

Los elementos de control hacen referencia a aquellos que modifican los parámetros operativos de las calderas, tales como tarjetas controladoras de ignición y flujo de gas, electroválvulas, presostatos, termostatos, controles de nivel de agua, válvulas de seguridad, dispositivos de ignición, etc.

3.3.1. Tarjeta Controladora de Calderas. Es un controlador de estado sólido para quemadores automáticos y constituye el principal mecanismo de

control y seguridad de las calderas. Uno de tantos controladores de calderas es el *Fireye*. Es un aparato electrónico que se encarga de controlar todas las secuencias programadas del proceso de encendido, operación, parada y seguridad de la caldera. En la figura 12 se observa el esquema correspondiente a un controlador Honeywell.

En seguida se describirá secuencia lógica típica de un programador Honeywell para calderas de ignición por llama piloto.

1. Cuando se aplica energía mediante el terminal 1 al circuito de control de la caldera, se energiza el motor del ventilador empezando el periodo de prepurga que dura aproximadamente 30 s.
2. Al tener cerrados todos los controles de operación en serie tales como: control de nivel, control de presión, temperatura, suministro comprobado de aire que se detectan a través del terminal 2 y después del periodo de prepurga se energiza el terminal 5, el cual le suministra corriente a la válvula piloto y el terminal 7 que suministra corriente al sensor-ignitor, se inician 90 segundos de prueba de ignición.
3. Simultáneamente el circuito de encendido de la bomba se completa cuando el control de nivel indique falta de agua y así reposicionar hasta un nivel superior máximo.
4. Cuando la llama piloto es detectada por el sensor ignitor, se energiza el terminal 3, que le da corriente a la válvula principal y a la vez se interrumpe el circuito de la chispa de ignición.
5. Cuando algún control de operación abre el circuito; este caso se puede dar cuando la presión llega a un valor alto predefinido o cuando el nivel

A medida que el agua (en forma de vapor) sale del sistema, el nivel del agua en la caldera, por supuesto, caerá. Cuánto cae depende mucho del diámetro, largo y condiciones del sistema de tuberías. Idealmente, el agua debe retornar a la caldera antes que el nivel de agua descienda por debajo de un punto crítico. Ese es el punto en el cual el control de bajo nivel de agua corta la energía de la válvula de alimentación de gas, o abre un alimentador automático de agua.

La norma ASME para calderas de calefacción a baja presión, por ejemplo, especifica: “cada caldera de vapor automática debe estar equipada con un sistema automático de control de corte de combustible por bajo nivel de agua”. El dispositivo a que la norma se refiere se conoce como “control de bajo nivel de agua”, y su función es apagar el quemador para proteger la caldera.

Existen dos tipos de control de nivel mas utilizados en la industria. La figura 13 muestra un control de nivel tipo flotador, que utiliza un flotador conectado mecánicamente con un switch que permite una señal eléctrica al control principal, y el de tipo probeta, figura 14 que depende de el flujo eléctrico entre el agua una sonda el cual mantiene energizado un solenoide. Cuando el nivel desciende el flujo eléctrico se interrumpe y el quemador se apaga.

Este último sistema de control no puede ser utilizado en un sistema de alimentación automática de agua sino como seguridad.

En algunos casos el sistema de tipo flotador esta equipado con una válvula que se abre automáticamente al alcanzar el nivel inferior permitiendo el ingreso de agua de alimentación.

Figura 13. Control de Bajo Nivel de Agua serie 63 Tipo Flotador Mcdonnell y Miller.



Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

Figura 14. Control de Bajo Nivel de Agua tipo Probeta serie PS-800 Mcdonnell y Miller.



Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

➤ **Combinación de Controles de Nivel de Agua y Alimentadores Automáticos de Agua.** Dos de los alimentadores más populares y versátiles son los Uni-Match® y los 101^a, ideales para uso residencial y comercial pequeño, ver figura 15. Versátiles en el sentido que son compactos y de fácil instalación para operar mediante controles de nivel de agua de tipo probeta o de tipo flotador. Estos alimentadores están siempre listos para añadir agua cuando reciben la señal del control de bajo nivel de agua. Las ventajas que ofrecen son, que no hay que agregar agua manualmente y más importante aún que se protege de manera muy segura la caldera

contra incendio por falta de agua manteniendo un nivel del agua mínimo seguro si ocurre un escape en el sistema.

Si se utiliza un alimentador de agua mecánico automatizado, se puede mantener funcionando el quemador aún durante un fallo de energía. Un alimentador mecánico puede también proteger una caldera de un mal funcionamiento del dispositivo de regulación del combustible, que cause que el quemador se trabaje y permanezca en esa condición. Supongamos que alguien desconecta un control, poniendo al quemador en operación continua. Un alimentador de agua mecánico automatizado continuará suministrando agua a la caldera siempre que el nivel descienda por debajo del punto de “alimentación”.

Bajo circunstancias normales, el dispositivo eléctrico de control de bajo nivel de agua (segundo componente de la combinación) estará siempre preparado para apagar el quemador si algo va mal con el alimentador automático.

Un alimentador automático de agua no alimenta hasta los dos tercios de pleno llenado del vidrio de nivel, sino que ese punto se ajusta a mano cuando se arranca el sistema. Como se dijo antes, el nivel “normal” tendrá distintos límites a medida que el sistema opera. Un alimentador automático solamente asegurará que haya un nivel de agua mínimo seguro. Con esto se disminuye a posibilidad de un error humano.

Considere esto. Un ayudante de caldera puede haber puesto demasiada agua en una caldera de vapor. No tiene un alimentador automático y está cansado de comprobar el nivel del agua todos los días, así que llena la caldera hasta los dos tercios mientras está funcionando. Cuando retorna el agua de condensación, la caldera se inunda. Agregando agua, el ayudante ha limitado el espacio para el agua de reposición. Sin suficiente espacio para

el vapor, el agua subirá por la tubería del sistema. Esto conduce a un mayor gasto de combustible, calefacción dispareja, golpes de ariete, formación de incrustaciones en la caldera y ciclos cortos del quemador. Repentinamente, el sistema se plaga de problemas y nadie está seguro de porqué.

Los alimentadores automáticos del agua ayudan a evitar estos problemas. Detectan el nivel de agua, manteniéndolo en un mínimo seguro, y permiten que el nivel de agua suba y baje de manera natural dentro de los límites normales de operación.

Figura 15. Combinación Alimentador de Agua Mecánico/Control de Bajo Nivel de Agua serie 47-2



Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

➤ **Selección del Controlador de Nivel Tipo Flotador mas apropiado.** La tabla 1 muestra el modo de seleccionar el controlador tipo flotador mas apropiado para las calderas según la máxima presión de operación.

Tabla 1. Selección del Controlador de Nivel tipo Flotador mas Apropiado.

Máxima presión Caldera psi (Kg/cm ²)	Método de instalación		Serie del producto	Diámetro NPT	Válvula de purga	
	Directamente en toma de caldera	Conectar a la caldera con 1" tub. Equalizador			Requerido	Proporcionando Con control de bajo niv. Agua
15 (1)	X		PS-800	3/4	No	N/A
	X		750/P	¾	No	N/A
20 (1.4)		X	61	1	Si	No
	X		67	½	Si	Si
	X		69	2 ½	No	N/A
50 (3.5)		X	63	1	Si	No
		X	64	1	Si	No
	X		64-A	½	Si	Si
150 (10.5)		X	93/193	1	Si	No
		X	150/150S/150E	1	Si	No
		X	150/150S/150E	1	Si	No
250 (18)		1 1/2	94/194	1 ½	Si	No
		X	750B-C3/C4	1	Si	No

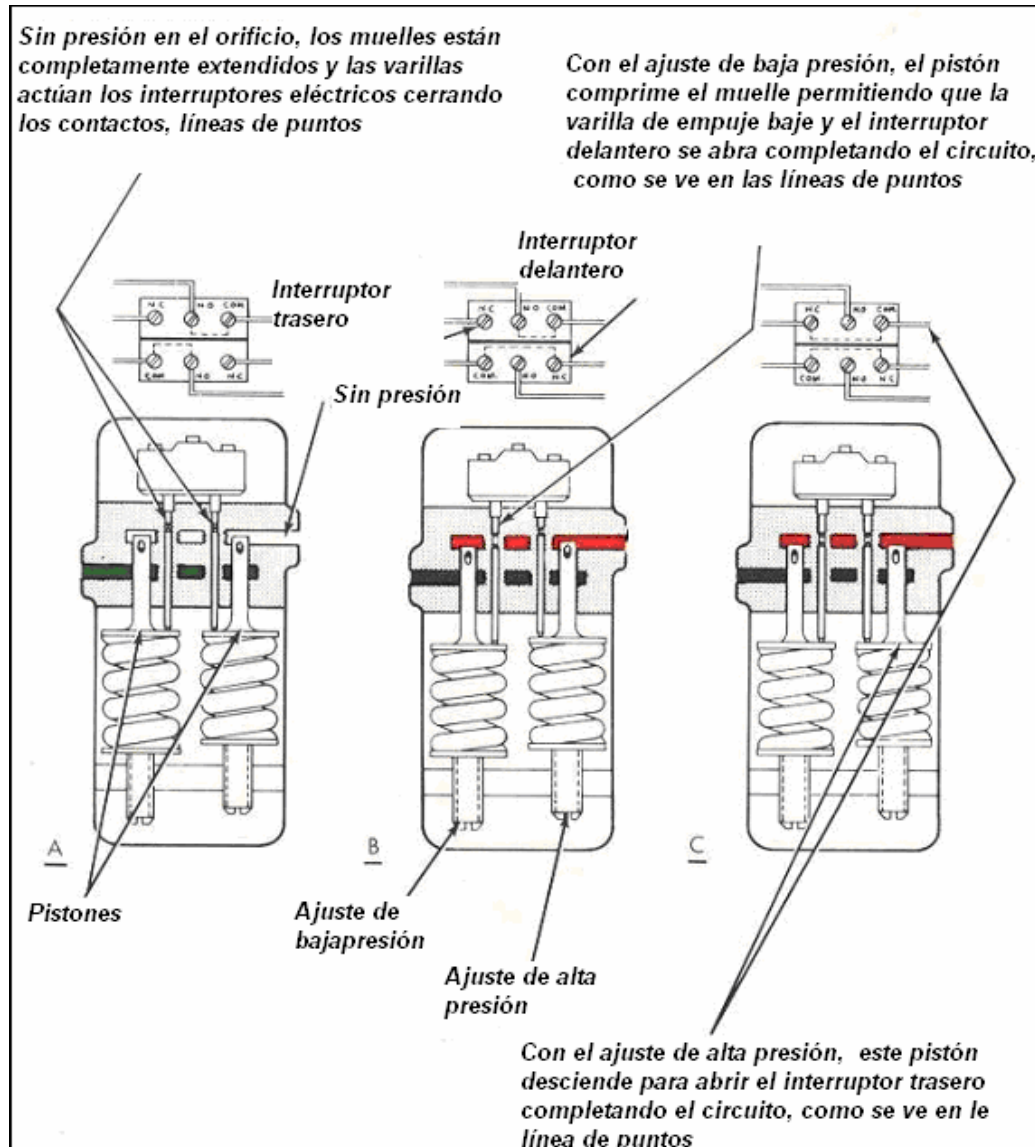
Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

3.3.3. Presostatos. Los presostatos son unos interruptores de corriente eléctrica accionados por presión. Se utilizan para el control del limite de presión máximo y mínimo, el control de la presión diferencial y cortes de seguridad. Los valores máximos y mínimo son predeterminados mediante un resorte graduable, el cual se comprime, abriendo o cerrando un contacto eléctrico que envía una señal de encendido o parada.

El principio de funcionamiento de un presóstato puede verse en la figura 16. Este modelo contiene dos interruptores eléctricos separados, accionado cada

uno de ellos mediante una varilla apoyada contra un pistón cuya posición es controlada por la presión de vapor en un lado y por un muelle en el otro. La presión a la que actúan los interruptores se selecciona girando el tornillo de ajuste para aumentar o disminuir la fuerza del muelle.

Figura 16. Funcionamiento del Presostato



Fuente: Manual Sistemas Oleoneumaticos

Hay que observar que en este diseño los interruptores son accionados por los muelles, en el montaje de las unidades. Así, los contactos normalmente abiertos se cerrarán y viceversa.

3.3.4. Control de Temperatura. Los controles automáticos en la industria están provistos normalmente de algún sistema para controlar la temperatura. El control de temperatura se utiliza para, mantener la temperatura de un producto o de un local, y para proteger de averías al equipo. Cuando el control se utiliza para regular la temperatura, el control se llama *termostato*, y cuando se trata de proteger al equipo se llama *dispositivo de seguridad*.

Los controles empleados en la industria son dispositivos que regulan la temperatura y sus cambios. Algunos de estos controles responden a los cambios de temperatura y se emplean para vigilar las sobrecargas eléctricas producidas por las variaciones de temperatura. Esta respuesta significa normalmente un cambio en la dimensión o características eléctricas del elemento sensible del control.

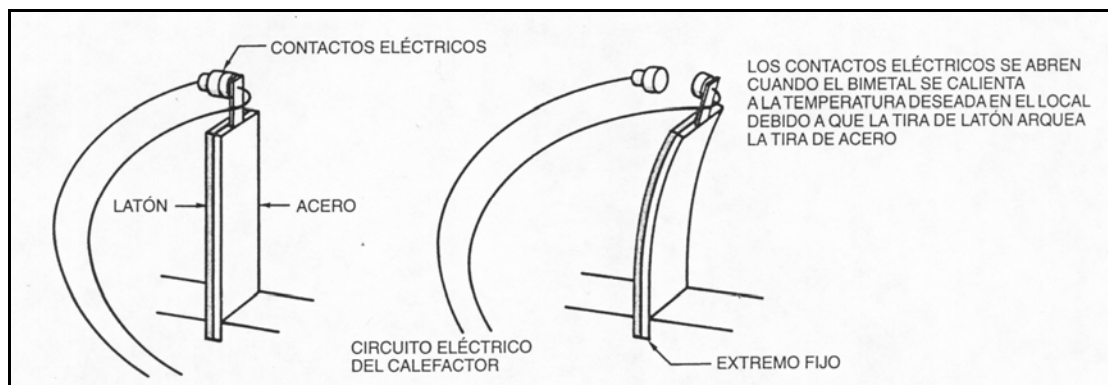
Unos de los mas conocidos controladores de temperatura son el elemento bimetal, control de temperatura por expansión del fluido y termopares.

➤ **Elemento bimetal.** El elemento bimetal es probablemente el dispositivo mas usado para detectar los cambios térmicos. En su forma mas sencilla este elemento consta de dos tiras de metales diferentes, unidas longitudinalmente y que tienen distintos grados de dilatación, figura 17. El acero y el latón son los metales que se emplean normalmente. Cuando se calienta este conjunto, la placa de latón se expande mas rápidamente que la de acero, curvándose ambas. La acción de este alabeo representa un cambio dimensional conocido que, conectado a un componente eléctrico o a una válvula, permite el paro, la puesta en marcha o la modulación de una

corriente eléctrica. Este control queda limitado en su aplicación por la cantidad de curvatura o alabeo que puede realizar ante un cambio de temperatura.

Para obtener el suficiente movimiento del bimetetal para que pueda actuar con una escala de temperaturas mas amplia, se emplean tiras de metal mas larga, figura 18. Para aumentar su longitud, el bimetetal puede adoptar la forma de una bobina arrollada, de un arrollamiento en hélice, de una orquilla para el pelo, o de una oruga.

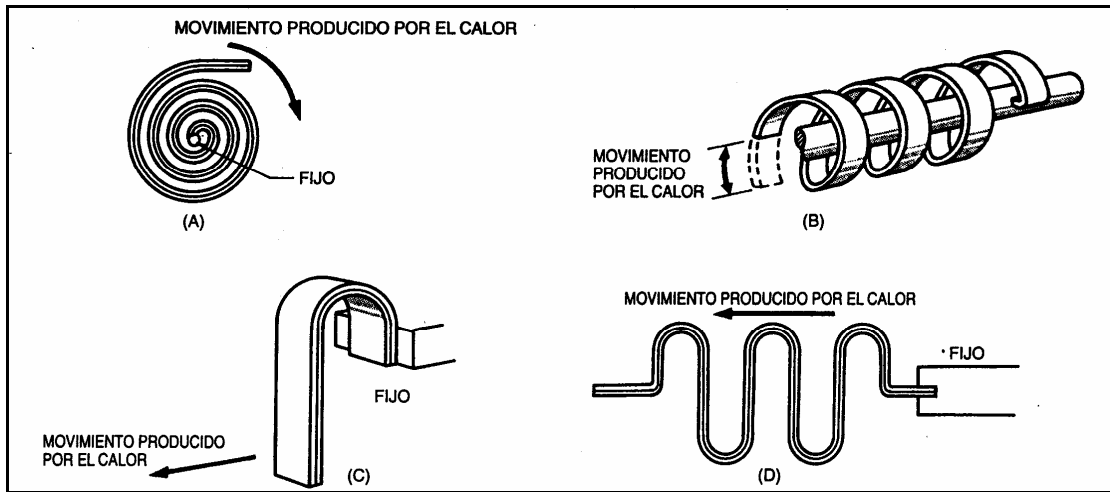
Figura 17. Elemento Bimetetal



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Control de Temperatura por Expansión del Fluido.** La expansión de un fluido es otro método para la percepción de los cambios de temperatura. El termómetro de mercurio se describió como un bulbo con un tubo de cristal delgado de mercurio que asciende por su envolvente. Al calentarse o enfriarse el bulbo, el mercurio se expande o contrae y, por consiguiente, sube o baja en la varilla del termómetro. El nivel de mercurio se basa siempre en la temperatura del mercurio en el bulbo. La misma idea se emplea para transmitir una señal a un control cuando ocurre una variación de temperatura.

Figura 18. Bimetales Alargados

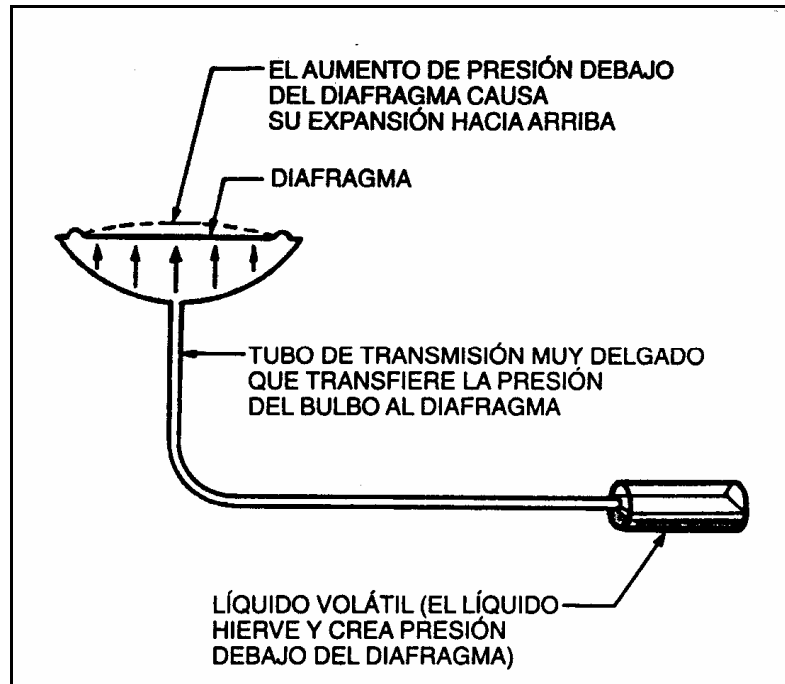


Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

El líquido que sube por el tubo transmisor actúa sobre un dispositivo que convierte el líquido ascendente en movimiento utilizable. El dispositivo que se utiliza es el diafragma. El diafragma es un disco delgado de metal flexible y de gran superficie. Se mueve hacia arriba o debajo de acuerdo con los cambios de la presión ejercida por la misma, figura 19.

El diafragma se mueve igual que el bimetálico. El diafragma tiene un campo de movimiento limitado pero una gran cantidad de fuerza durante su acción. El curso del control lleno de líquido está limitado a la expansión del líquido en el bulbo bajo la escala de temperaturas en que trabaja. Cuando se necesita ampliar el movimiento del control, se emplea otro dispositivo, llamado *fuelle*. Los fuelles se utilizan normalmente con gas en su interior en lugar de líquido.

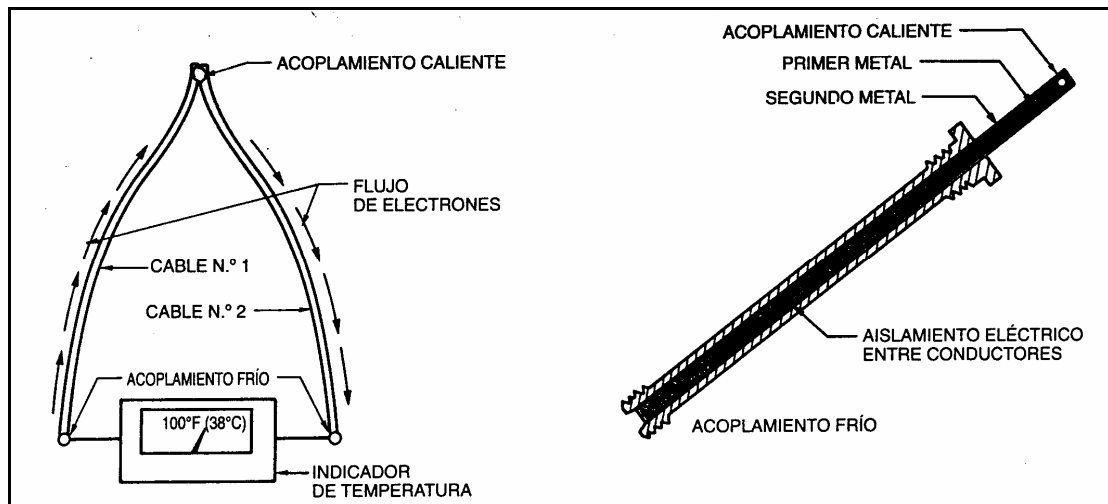
Figura 19. Control de Temperatura por Expansión del Fluido



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

➤ **Termopares.** El termopar difiere de los demás métodos de control en los cambios térmicos ya que, en lugar de la expansión, utiliza principios eléctricos, figura 20. Los termopares están formados por dos metales diferentes unidos en un solo terminal. Cuando se calienta el terminal que esta conectado, se forma una corriente eléctrica que circula debido a la diferencia de temperatura en los dos terminales del termopar. Cada termopar tiene un acoplamiento *caliente* y otro *frio*. El acoplamiento caliente se encuentra a un nivel de temperatura mas alto que el acoplamiento frio. Esta diferencia de temperatura es la que inicia el flujo de corriente. El calor provocará que una corriente eléctrica circule en un sentido, en uno de los dos metales, y en sentido inverso en el otro. Cuando ambos metales estén conectados forman un circuito eléctrico, de manera que, si se aplica calor a un extremo del elemento, circulará una corriente.

Figura 20. Termopares



Fuente: WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. Barcelona, marcombo, 1997.

3.3.5. Dispositivos de Ignición. Para que se inicie el proceso de combustión del gas a su salida por el quemador es necesaria que se suministre energía térmica a un valor superior al de la temperatura de inflamación de gas. Esta temperatura mínima puede alcanzarse de forma manual (acercando una cerilla, mediante las chispas producida por piedras de mechero), o de forma automática.

Los dispositivos mas usuales de encendido automatico son:

- El calor generado por una resistencia.
- La chispa electrica.
- El efecto piezoelectrico.

➤ **Dispositivos de Encendido por Resistencia Electrica.** Al pasar la corriente electrica a través de un cuerpo, este se calienta. Los dispositivos de encendido mediante resistencia electrica se basa en esta propiedad y el elemento principal es una resistencia que al circular la corriente electrica a

traves de ella alcanza la temperatura necesaria para encender el gas. La resistencia se coloca a la salida del piloto, o, en caso de no existir este, a la salida del quemador.

➤ **Dispositivos de Encendido por Chispa Eléctrica.** Cuando entre dos puntos proximos, la diferencia de potencial es elevada, salta una chispa entre ellos. Los dispositivos de encendido mediante chispa electrica se basan en esta propiedad. Segun el tipo de circuito utilizado en la generacion de la tension necesaria para que salte la chispa electrica, podemos tener dos tipos:

- **Por Chispa de Alta Frecuencia.** El elemento basico es un transformador cuyo primario esta conectado a la red a traves de un diodo, una resistencia y un condensador. Cuando el pulsador se encuentra abierto, el condensador se carga a traves del diodo y la resistencia.

Al cerrar el interruptor, el condensador se descarga bruscamente sobre el primario del transformador. Este incremento brusco de intensidad en el primario hace que el secundario se genere una tension elevada, saltando la chispa en la bujia. Debemos notar que cada vez que se pulsa el pulsador solo se genera una chispa.

- **Dispositivos de Encendido por Chispa de Alta Tension.** Este mecanismo se basa en un transformador que genera una tensión del orden de los 6000 V a partir de la red. Al cerrar el interruptor se genera un arco entre la bujia y el quemador.

Al igual que en los dispositivos de encendido por alta frecuencia, estos tienen una vida elevada, pero necesitan una fuente externa de energía para su funcionamiento. La chispa puede ser generada principalmente de dos maneras:

- ✓ Transformador de núcleo de hierro (bobinas).
- ✓ Dispositivo de ignición electrónica.

Una de las ventajas de los dispositivos de ignición electrónica es que son compactos, de menor peso y la chispa es fuerte y estable

Una desventaja de los dispositivos de ignición electrónica es el nivel de ruido. Debido a esto es mandatorio un filtro para reducir la interferencia causada por el ruido.

En los quemadores de aceite por lo general son encendidos con una chispa que corre entre dos electrodos. Los quemadores de gas son usualmente encendidos con una chispa corriendo de un electrodo a la carcasa del quemador (tierra).

Una ignición confiable depende de varios parámetros:

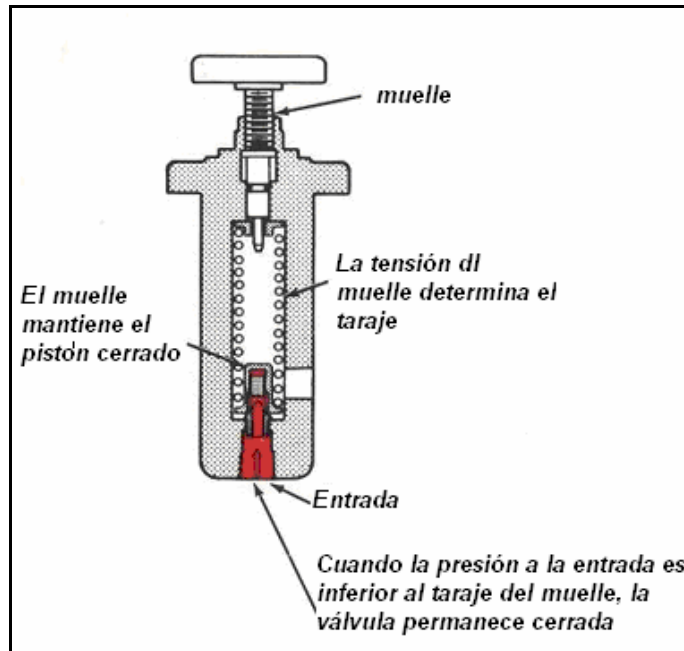
- ✓ Velocidad del aire
- ✓ Forma y tamaño de los electrodos de ignición
- ✓ Calidad de la aspersion
- ✓ Longitud y tamaño de los cables AT (alta tensión)
- ✓ Energía de la chispa.

➤ **Dispositivos de Encendido por Efecto Piezoelectrico.** Los dispositivos de encendido por efecto piezoelectrico se basan en la propiedad que tienen algunos cristales de producir una diferencia de potencial entre sus extremos al ser golpeados. Los cristales pueden ser de cuarzo, turmalina, titanato basico, los cuales estan tallados de forma adecuada y sus extremos recubierto por una deposicion de cobre electrolitico.

3.3.6. Válvula de Seguridad. La válvula de seguridad, es un elemento imprescindible en una caldera, de acuerdo con la norma ASME sobre recipientes a presión y calderas. Su función es limitar la presión máxima de trabajo de la caldera, liberando el exceso de vapor.

Una válvula de seguridad simple o de acción directa puede consistir en una bola u obturador mantenido en su asiento, en el cuerpo de la válvula, mediante un muelle fuerte, figura 21. Cuando la presión en la entrada es insuficiente para vencer la fuerza del muelle, la válvula permanece cerrada. Cuando se alcanza la presión de abertura, la bola u obturador es desplazado de su asiento y ello permite el paso del vapor a la atmósfera mientras se mantenga la presión.

Figura 21. Válvula de Seguridad Típica



Fuente: Manual Sistemas Oleoneumaticos

4. AISLAMIENTO TÉRMICO

4.1. INTRODUCCION

En la mayor parte de las unidades y equipos industriales donde tiene lugar una combustión, como en los hornos y calderas, se hace preciso disponer de un revestimiento protector de las paredes del hogar que contribuye a que no haya pérdidas de calor.

Los aislamientos se pueden clasificar de un modo amplio en tres grandes categorías de productos:

- Aislantes
- Refractarios
- Refractarios-aislantes o ligeros

4.2. AISLANTES

El aislamiento se hace con el fin de reducir las pérdidas de calor. El material utilizado debe ser incombustible, resistente al calor y con un bajo coeficiente de transferencia de calor. Los principales materiales de aislamiento son el silicato de calcio, fibra de vidrio, vidrio espumado, lana de roca, perlita expandida, elastoméricos, poliestireno, poliuretano.

Los aislantes son aquellos productos de baja conductividad térmica que soportan en una cara hasta 1000 °C. Las densidades aparentes son bajas, porosidad alta y poca resistencia a la compresión en frío.

Las variables importantes del aislante son:

- ✓ Temperatura del fluido de proceso ($^{\circ}$ C)
- ✓ Espesor del aislante (mm)
- ✓ Tipo del material aislante
- ✓ Conductividad térmica del aislante (w/m° K)
- ✓ Tipo de recubrimiento del material aislante
- ✓ Temperatura de superficie ($^{\circ}$ C)
- ✓ Diámetro nominal de la tubería (mm)
- ✓ Tipo de tubería
- ✓ Temperatura de pared ($^{\circ}$ C)
- ✓ Temperatura ambiente ($^{\circ}$ C)
- ✓ Velocidad del viento (m/h)

A continuación se mencionara los tipos de aislantes mas utilizados:

4.2.1. Fibra de Vidrio. También llamada lana de vidrio. Se caracteriza por ser de composición estable, rigurosamente homogénea, inatacable por los agentes químicos, exento el ácido fluorhídrico, Poca higroscopicidad, incombustible, refractario a la acción de los agentes atmosféricos, fácil colocación y moldeabilidad.

Generalmente se utiliza como aislamiento térmico en la industria de la refrigeración, el aire acondicionado y la generación de vapor. La presentación de la fibra de vidrio es en láminas o rollos.

4.2.2. Poliuretano Expandido. Es el mas utilizado en el casco de las cámaras desmontables por su baja conductividad y por la facilidad de adaptabilidad a cualquier forma.

Se utiliza en forma de sándwich, ya que la espuma puede llenar los difíciles huecos y copiar las mas complicadas formas. Se adhiere fácilmente al papel, metal, madera, piedra y plástico.

Las espumas pueden utilizarse desde $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. La permeabilidad disminuye con el aumento de la densidad. A mayor espesor de la capa de poliuretano el calor absorbido por el interior del cuarto a través de las paredes es menor. Se comercializa en módulos o paneles rígidos con dimensiones específicas.

4.2.3. Poliestireno Expandido. Es un material aislante celular obtenido de un producto base, que se presenta bajo la forma de perlas blancas obtenidas por la polimerización de las perlas de estireno.

Se caracteriza por ser resistente a la difusión del vapor de agua y la absorbe muy poco, Es estable hasta la temperatura de -200°C y se deforma alrededor de los 85°C , insensible a todos los ácidos excepto al ácido nítrico.

Se presenta en láminas de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ y de 2.54 a 10.16 cm , también en forma de paneles. Para el aislamiento de tuberías se presenta en forma de coquillas.

4.3. REFRACTARIOS

Denominados genéricamente refractarios, dichos revestimientos se extienden, fuera del hogar propiamente dicho, por la zona de recorrido de los gases de combustión hasta su salida o hasta un punto en que su temperatura se ha reducido de tal forma que hace innecesaria la protección. Las calidades y espesores de revestimiento se adaptan a las condiciones de trabajo en cada zona de modo que, en muchas ocasiones, los recubrimientos

no pueden considerarse propiamente refractarios, si atendemos la definición normalmente aceptada por la cual materiales refractarios son aquellos cuyo punto de fusión es igual o superior a 1500 °C.

A continuación se mencionaran los tipos de refractarios mas utilizados en la industria*.

4.3.1. Concretos refractarios densos. Son mezclas de materiales refractarios molidos con una granulometría adecuada y aditivos ligantes. Los concretos desarrollan inicialmente una liga hidráulica, que les confiere buenas propiedades mecánicas en frío. Con el incremento de la temperatura se desarrolla la liga cerámica, que les confiere alta resistencia mecánica en el uso.

Los concretos refractarios ofrecen ventajas frente a los ladrillos, tales como:

- Mayor agilidad en la aplicación.
- Ausencia de juntas en la mampostería, lo cual redundo en economía de combustible al impedir el paso de gases calientes o aire frío.
- Racionalización y reducción de inventarios de formas especiales.

4.3.2. Concretos sílico – aluminosos. Se mencionaran los principales concretos sílico-aluminosos.

➤ **Concrax ug.** Concreto refractario para uso general en aplicaciones cuya temperatura de trabajo no exceda de 1320°C. Aplicaciones típicas de este concreto son: el revestimiento de calderas, plataformas de carros de hornos túneles, entre otras. Tiene un tamaño máximo de grano de 5 mm.

* Productos Erecos. Especialidades refractarias

➤ **Concrax 1300.** Concreto refractario sílico-aluminoso denso, para aplicaciones generales en zonas cuya temperatura de trabajo no exceda de 1320 °C. Indicado para la construcción de bloques para quemadores, plataformas de carros de hornos túneles, revestimiento de calderas, etc. Tiene un tamaño máximo de grano de 10 mm.

➤ **Concrax 1300xf.** Es un concreto con temperatura máxima de servicio de 1320°C, que contiene agregados gruesos, los cuales le confieren una excelente resistencia al abuso mecánico por compresión y abrasión. Aplicaciones típicas son: zonas de cadenas de hornos rotatorios de cemento, ductos a través de los cuales pase aire con material particulado a altas velocidades, etc.

➤ **Concrax 1500.** Concreto refractario sílico-aluminoso denso. Para aplicaciones generales en zonas cuya temperatura de trabajo no exceda de 1540 °C, como en calderas, hornos de tratamiento térmico, hornos de foso, etc. Por su amplio campo de aplicación es una de las marcas de ERECO más conocidas y usadas.

4.3.3. Concretos de alta alúmina

➤ **Concrax 1650.** Concreto refractario denso de alta alúmina, diseñado para aplicaciones de uso general donde la temperatura no exceda a 1650°C y donde las exigencias mecánicas sean moderadas.

➤ **Concrax 1700.** Concreto refractario denso de alta alúmina. Para aplicaciones generales en zonas donde la temperatura no exceda a 1650°C. Posee alta refractariedad y conserva sus propiedades mecánicas a altas temperaturas. Se usa para revestir calderas, hornos de calentamiento de

palanquilla, hornos de forja, hornos rotatorios, lanzas de inyección de gases, etc.

➤ **Corindal 1900** Concreto refractario denso de alta alúmina. Desarrollado especialmente para condiciones de servicio a extremas temperaturas, con buena estabilidad volumétrica, resistencia mecánica y capacidad de soportar choque térmico y abrasión. Temperatura máxima de servicio recomendada 1800°C.

4.3.4. Concretos de bajo cemento. Como su nombre lo indica, estos concretos de nueva generación se diferencian de los convencionales en su contenido de cemento aluminoso lo cual, además de requerir menor cantidad de agua para su preparación, les imparte, junto con la acción de aditivos especiales, propiedades sobresalientes tanto físico-mecánicas como químicas.

➤ **cbc – 50.** Concreto refractario de bajo cemento con 50% de alúmina. De alta densidad, baja porosidad y alta resistencia mecánica en frío y en caliente. Posee una resistencia al choque térmico mayor que la de los concretos convencionales. Este producto se debe vibrar durante su aplicación. Indicado para construcción de tapas de distribuidores, bloques para quemadores, esquineros de carros de hornos túnel, etc.

➤ **cbc – 85** Concreto refractario de bajo cemento con 85% de alúmina. De excelente refractariedad y altas propiedades mecánicas tanto en frío como en caliente. Por su baja porosidad y alta densidad es de buen desempeño en donde se requiera resistencia al choque térmico, al ataque por metal fundido y escorias y en general donde se presenten condiciones severas de abuso mecánico.

- **cbc- antipega.** Concreto refractario de bajo cemento con excelentes propiedades mecánicas tanto en frío como en caliente, especialmente diseñado para resistir ataque de álcalis, como el que se presenta en las torres de precalentamiento de los hornos de cemento de vía seca.
- **cbc-50 ral.** Es un concreto de bajo cemento, de 50% de alúmina, caracterizado por ser resistente a la penetración del aluminio fundido y por tener una alta resistencia mecánica en caliente. Este concreto está diseñado para estar en contacto con el aluminio fundido.

4.3.5. Concretos de ultrabajo cemento

- **canbc-80.** Concreto refractario de ultrabajo cemento de 80% de alúmina, con una alta densidad y baja porosidad. Posee una excelente resistencia mecánica tanto en frío como en caliente. Además, su estabilidad dimensional permite que sea usado hasta 1700°C. Puede aplicarse con vibración externa o como autonivelante, lo cual le confiere una gran flexibilidad y lo habilita para una amplia gama de aplicaciones, especialmente aquellas en las que se requiera resistencia mecánica alta, resistencia al choque térmico, al ataque por escorias y por metal fundido, entre otras.
- **c-espinela.** Es un concreto de ultrabajo cemento cuyas principales características son su alta resistencia mecánica, al impacto y al desgaste por erosión. Estas características se dan gracias a que este concreto forma espinela in-situ. El principal uso de este concreto está en la industria siderúrgica, donde se recomienda para el revestimiento monolítico de las cucharas y hornos cuchara. Este concreto debe aplicarse con vibración externa.

4.4. REFRACTARIOS AISLANTES

Los refractarios aislantes son aquellos utilizables a temperaturas por encima de 1100 °C, con densidad relativamente baja, resistencia mecánica en frío reducida y como mínimo un valor aislante doble de los refractarios. Soportan la exposición directa sin contacto con llama formando entonces la primera capa de revestimiento y en cualquier caso se puede instalar como segunda capa, tras el refractario denso.

- **Coral50x.** Concreto refractario aislante, de baja densidad (50 lb/ft³) y baja conductividad térmica. Adecuado para revestimientos monolíticos no expuestos a fuego directo. Temperatura máxima de servicio recomendada: 1100°C.

- **Coral50.** Concreto refractario aislante, de baja densidad (50 lb/ft³) y baja conductividad térmica. Adecuado para revestimientos monolíticos no expuestos a fuego directo y como respaldo aislante de materiales refractarios, donde se requiera un bajo contenido de óxido de hierro. Temperatura máxima de servicio recomendada: 950°C.

- **Coral 65.** Concreto refractario aislante con una densidad promedio de 65 lb/ft³ y con una baja conductividad térmica. Recomendado para revestimientos monolíticos que estén sometidos al fuego directo, pero donde no se presenten ni abrasión ni abuso mecánico. Igualmente se recomienda como respaldo de materiales refractarios en aplicaciones en las cuales se requiera que el revestimiento de respaldo tenga una resistencia mecánica moderada. Temperatura máxima de servicio recomendada: 1100°C.

5. DISEÑO TERMICO

5.1. INTRODUCCION

En el transcurso del diseño y construcción del equipo, se consultó información técnica de calderas para este uso y con base en recomendaciones por ingenieros y técnicos de gran experiencia en esta rama, se tomó la determinación de disminuir la capacidad del generador de vapor. Los 2 BHP o 66950 BTU/h de capacidad que se habían planteado en los objetivos del proyecto serian demasiado para las dimensiones del cuarto.

Se estipuló una capacidad de 50.000 BTU/h a 5 psi^{*}, que serán mas que suficientes para satisfacer estos requerimientos.

En el diseño térmico se llevará a cabo una serie de cálculos^{**} requeridos para lograr una estimación aproximada de:

- Área de transferencia de calor
- Aire y combustible requerido por la caldera
- Capacidad de producción de vapor

5.2. CAPACIDAD DE PRODUCCION DE VAPOR

El calor total que recibe el agua para llevarlo al estado de vapor saturado es:

$$Q_{H_2O} = Q_1 + Q_2$$

* 5 psi es la presión manométrica del vapor

** Los cálculos correspondientes a este capítulo se basan en CENGEL, Yunus. Termodinamica tomo I y II. McGraw-Hill 1996; CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. McGraw-Hill 2004.

➤ $Q_1 = m_{H_2O} * (hf_{106} - hf_{25})$. Calor para elevar la temperatura del agua desde temperatura ambiente (25°C) hasta la temperatura de saturación a la presión de trabajo (5 psi).

➤ $Q_2 = m_{H_2O} * (hg_{106} - hf_{106})$. Calor de vaporización a 5 psi.

Luego:

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * (hf_{106} - hf_{25}) + m_{H_2O} * (hg_{106} - hf_{106})$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * (hg_{106} - hf_{25})$$

$$- hg_{106} = 1155 \text{ BTU/lb} \quad (\text{Entalpía de vapor saturado a } 106^\circ\text{C})$$

$$- hf_{25} = 45 \text{ BTU/lb} \quad (\text{Entalpía líquido a } 25^\circ\text{C})$$

$$m_{H_2O} = \frac{50.000 \text{ BTU} / h}{(1155 - 45) \text{ BTU} / \text{lb}} = 45 \text{ lb} / h$$

La rata de producción de vapor aproximada es de 45 lb/h a una presión de 5 psi.

5.3. COMBUSTIBLE REQUERIDO POR LA CALDERA

➤ $Q_{Salida} = 50.000 \text{ BTU/h}$ (Calor estimado del vapor).

➤ $\eta = 75 \%$ (Eficiencia esperada del generador).

➤ $H_{com} = 21698 \text{ Btu/lb}$ (Poder calorífico del gas propano, ver anexo A).

➤
$$\eta = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}}$$

Calor entregado por el combustible:

$$Q_{\text{entrada}} = \frac{50.000 \text{ BTU} / h}{0.75} = 66.667 \text{ BTU} / h$$

$$Q_{\text{entrada}} = m_{\text{comb}} * H_{\text{comb}}$$

$$m_{\text{comb}} = \frac{66.667 \text{ BTU} / h}{21698 \text{ BTU} / \text{lb}} = 3.08 \text{ lb} / h$$

Se requiere una rata masica de combustible de 3.08 lb/h a una presión 0.5 psi. *

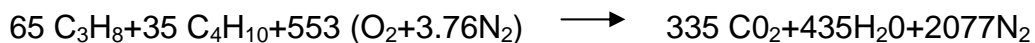
5.4. QUÍMICA DE LA COMBUSTIÓN

El gas utilizado es gas propano y su composición es :

$$\text{C}_3\text{H}_8 = 65\%$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 35\%$$

5.4.1. Reacción. Para la reacción estequiometrica se tomaran 100 moles de combustible:



5.4.2. Relación Aire Combustible:

$$AC = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{combustible}}} = \frac{(N * M)_{\text{aire}}}{(N * M)_C + (N * M)_{\text{H}_2}}$$

* 0.5 psi : presión de trabajo manométrica de la electroválvula de gas Uni-D

$$AC = \frac{(553 * 4.76 \text{ kmol} * 28.97 \text{ kg} / \text{ kmol})_{\text{aire}}}{(335 \text{ kmol} * 12 \text{ kg} / \text{ kmol})_C + (435 \text{ kmol} * 2 \text{ kg} / \text{ kmol})_{H_2}} = 15.59 \text{ kg}_{\text{aire}} / \text{ kg}_{\text{combustible}}$$

5.4.3. Aire Requerido por la Caldera

$$m_{\text{aire}} = AC * m_{\text{combustible}} = 15.59 * 3.08 = 48 \text{ lb/h}$$

Tomando un exceso de aire del 20%:

$$m_{\text{aire}} = 58 \text{ lb/h}$$

5.4.4. Temperatura de Llama Adiabática

En ausencia de cualquier interacción de trabajo y cualesquiera cambios en las energías cinética y potencial, la energía química liberada durante un proceso de combustión se pierde como calor hacia los alrededores o se usa internamente para elevar la temperatura de los productos de la combustión. Cuanto mas pequeña es la perdida de calor, tanto mayor resulta el aumento de temperatura. En el caso limite de no perdida de calor hacia los alrededores, la temperatura de los productos alcanzara un máximo, conocido como temperatura de llama adiabática.

$$Q - W = \sum_{\text{productos}} n_p * (h_f^o + h - h^o)_p - \sum_{\text{reactivos}} n_r * (h_f^o + h - h^o)_r \quad (1)$$

Al hacer el balance energético de la combustión fijando $Q=0$ y $W=0$ se obtiene que la entalpía de los reactantes es igual a la entalpia de los productos.

⁽¹⁾ CENGEL, Yunus. Termodinamica tomo II. McGraw-Hill 1996

$$H_{\text{reactivos}} = H_{\text{productos}}$$

$$\sum_{\text{reactivos}} n_r * (h_f^o + h - h^o)_r = \sum_{\text{productos}} n_p * (h_f^o + h - h^o)_p$$

Donde:

h_f^o = entalpía de formación en el estado de referencia estándar.

$h - h^o$ = entalpía sensible relativa al estado de referencia estándar.

n_r y n_p = número de moles del reactivo r y el producto p, respectivamente, por mol de combustible.

Tabla 2. Temperatura de Llama Adiabática

T (K)		H (cal)	
Reactivos	Productos	Reactivos	Productos
298	1000	-1751360	-13862980.8
298	2000	-1751360	-2507375.54
298	2100	-1751360	-1293804.71
298	2200	-1751360	-695.199.105
298	2000	-1751360	-2507375.54
298	2010	-1751360	-2386525.31
298	2020	-1751360	-2265560.13
298	2030	-1751360	-2144480.87
298	2050	-1751360	-1901983.59
298	2060	-1751360	-1780567.29
298	2070	-1751360	-1659040.39
298	2080	-1751360	-1537403.75
298	2100	-1751360	-1293804.71
298	2060	-1751360	-1780567.29
298	2061	-1751360	-1768419.57
298	2062	-1751360	-1756270.74
298	2063	-1751360	-1744120.8
298	2064	-1751360	-1731969.76
298	2065	-1751360	-1719817.62
298	2066	-1751360	-1707664.37
298	2067	-1751360	-1695510.03
298	2068	-1751360	-1683354.58
298	2069	-1751360	-1671198.04

5.5. CALCULO DE AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para calcular el área de transferencia de calor, se estipula un área de transferencia de calor de 10 ft² por cada BHP ó 33475 BTU/h, * es decir

$$3347 \frac{BTU / Hr}{ft^2}$$

Bajo esta consideración se tiene un área de transferencia de calor de:

$$A = 14.94 \text{ ft}^2 = 2152 \text{ in}^2$$

$$A = N * \Pi * \phi * L$$

Donde:

A: área de transferencia de calor total: 2152 in²

ϕ = diámetro de los tubos de humos: 1 ½ in.

L = longitud de los tubos: 25 in (63.5 cm) con un espesor de aprox de 4 mm

N = numero de tubos.

$$N = \frac{2152 \text{ in}^2}{\Pi * 1.5 \text{ in} * 25 \text{ in}} \approx 19$$

A continuación se realizará un análisis para corroborar esta consideración de área de transferencia de calor.

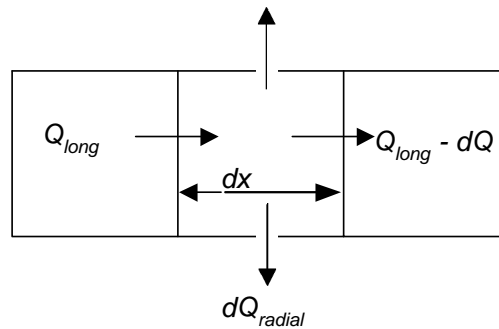
Para calcular el calor cedido de los gases de combustión se aplicaran las ecuaciones de transferencia de calor propuestas por Cengel, Yanus** y se harán las siguientes suposiciones:

* Basado en la tesis de grado: diseño y construcción de un sistema generador de vapor aplicado a baños turcos y saunas. HERNANDEZ, David y MONCADA, Iván. 1996..

** CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. McGraw-Hill 2004.

- ✓ La temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión se asume igual a la temperatura de llama adiabática.
 - ✓ La transferencia por radiación se realiza en dirección normal al flujo de gases.
 - ✓ La temperatura se considera uniforme en planos perpendiculares al flujo
- **Balance de Energía.** Al tomar un diferencial (dx) de un tubo de humos, tenemos:

Figura 22. Balance de Energía de los Tubos de Humos



$$dQ_{long} = dQ_{radial}$$

$$dQ_{long} = q_{radial} * dA$$

Donde :

- q_{radial} = Calor cedido al agua a través de las paredes de los tubos de humos:

$$q_{radial} = q_{radiación} + q_{convección}$$

$$q_{\text{radiacion}} = \left(\frac{\varepsilon_s + 1}{2} \right) (\varepsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_s^4)$$

ε_s = Emisividad de superficie

ε_g = Emisividad de gases

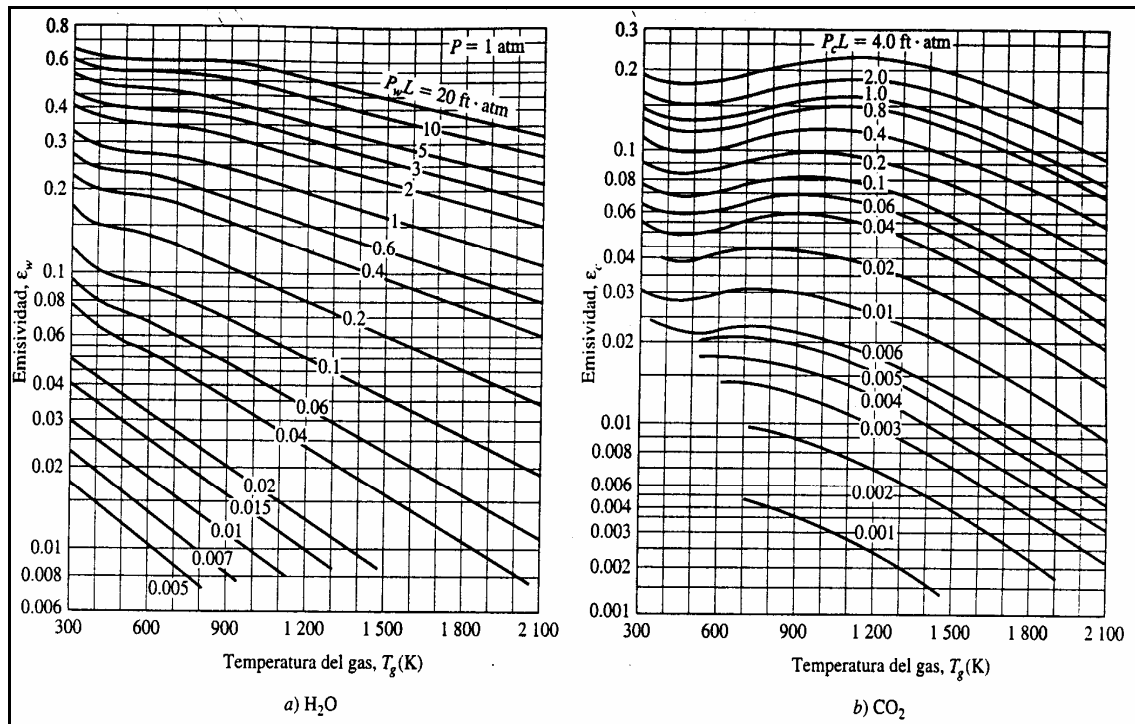
α_g = Absortividad de gases

T_g = Temperatura del gas

T_s = Temperatura de la superficie

Las anteriores propiedades, se determinan mediante la figura 23 y las tablas de los anexos (C)

Figura 23. Emisividad de los Gases H₂O y CO₂ a una Presión Total de 1 Atmósfera



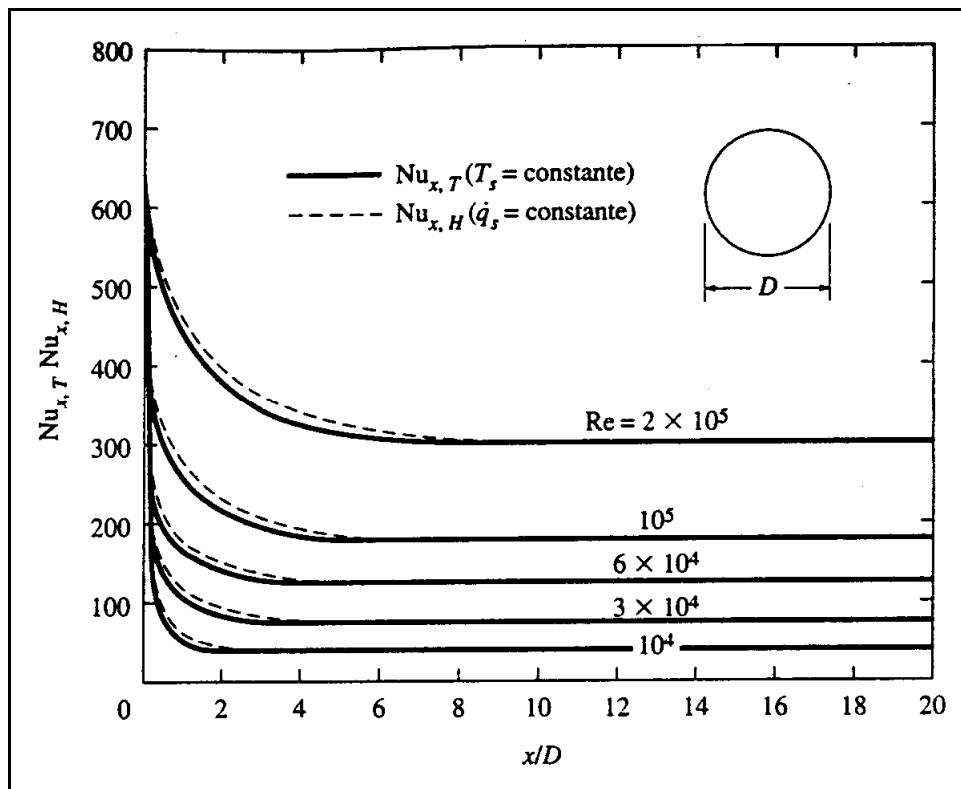
Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. McGraw-Hill 2004.

$$q_{conveccion} = h_{gas} (T_{gas} - T_{sup})$$

h = Coeficiente de transferencia de calor convectivo de los gases de combustión.

$$h = \left(\frac{N_u k}{D} \right) \text{ y } N_u = f(Re Pr^{D/L}) \text{ Ver figura 24}$$

Figura 24. Variación del Numero Local de Nusselt a lo largo de un Tubo, en Flujo Turbulento.



Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. McGraw-Hill 2004.

Entonces:

$$q_{radial} = q = \left(\frac{\epsilon_s + 1}{2} \right) (\epsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_s^4) + h_{gas} (T_{gas} - T_{sup}) \quad (2)$$

$$\triangleright dQ_{long} = m_g C_{p_{gases}} dT$$

$$m_g C_{p_{gases}} dT = q_{radial} * dA$$

$$m_g C_{p_{gases}} dT = q(2\pi r dx)$$

$$\int_0^L dx = \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} \frac{m_g C_p dt}{2\pi r q}$$

$$L = - \left(\frac{mCp (T_{g2} - T_{g1})}{2\pi * r q} \right) \quad (3)$$

$T_{g2} - T_{g1}$ = Cambio de temperatura de los gases en un diferencial dx

r = Radio de los tubos de humos

La ecuación anterior relaciona la longitud de los tubos de humos, con un cambio de temperatura de los gases al pasar a través de los mismos, ocasionado por la transferencia de calor en la dirección radial hacia el agua

➤ **Calor Recibido por el Agua**

$$q = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[\frac{C_p (T_s - T_{sat})}{C_{sf} h_{fg} Pr_l^n} \right]^3 \quad (4)$$

Las propiedades del agua son a la temperatura de saturación de 107 °C y 5 psi, ver tabla anexos de propiedades de agua.

q = flujo de calor por unidad de área

μ_l = viscosidad del liquido = 0.282×10^{-3} kg.m/s

h_{fg} = entalpía de vaporización = 2310×10^3 J/kg

g = aceleración gravitacional = 9.81 m/s²

ρ_l = densidad del liquido = 954 kg/m³

ρ_v = densidad del vapor = 0.6 kg/m³

σ = tensión superficial de la interfase liquido-vapor = 0.057 N/m

C_{pl} = calor específico del liquido = 4217 J/kg.°C

T_s = temperatura superficial

T_{sat} = temperatura de saturación del fluido = 106 °C

C_{sf} = constante experimental dependiente combinación superficie-fluido = 0.013

Pr_l = número de Prandtl del liquido = 1.75

n = constante experimental que depende del fluido = 1

➤ **Procedimiento**

1. Se parte primero con T_{g1} = temperatura de llama adiabática y se supone una temperatura de superficie T_{sup} .

⁽⁴⁾ Correlación que se usa con mayor amplitud para la velocidad de transferencia de calor en el régimen de ebullición nucleada en estanque propuesta por Rohsenow

2. Con la ecuación (2), se halla el calor q , y se comprueba con la ecuación (4) hasta obtener la T_{sup} correcta.
3. Una vez verificados los valores correctos de T_{sup} . Y q , se determina la longitud del tubo con la ecuación (3).
4. Se prosigue con otra temperatura T_g y se realiza el mismo procedimiento hasta que se obtenga la longitud de los tubos de aprox 63 cm.
5. Teniendo todos los valores de los calores. Se saca una media y se comprueba la suposición aproximada de los 3347 BTU/ Hr por cada ft^2

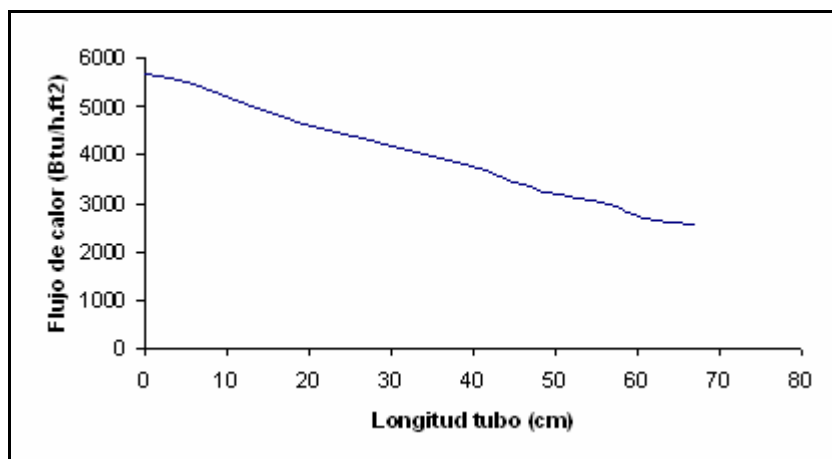
Tabla 3 . Temperatura de los Gases en el Transcurso de los Tubos de Fuego

T gas (K)	T gas (F)	Tsup (F)	qt (BTU/h ft2)	L (pie)	L (cm)
2062	3251,912	266,0000	5698,3254	0	0
2000	3140,312	264,2000	5462,330	0,12967329	6,038886140
1950	3050,312	262,4000	5124,36	0,24033176	11,192252500
1900	2960,312	260,6000	4789,36	0,35688587	16,620178500
1850	2870,312	258,8000	4512,36	0,47979792	22,344193700
1800	2780,312	257,0000	4250,39	0,60958039	28,388164500
1750	2690,312	255,2000	3987,360	0,74680322	34,778633000
1700	2600,312	253,4000	3658,145	0,89210242	41,545218400
1650	2510,312	251,6000	3258,360	1,04619041	48,721097400
1600	2420,312	249,8000	2985,360	1,21016781	56,357526500
1550	2330,312	248,0000	2725,302	1,351137459	60,899484674
1500	2240,312	246,2000	2547,875	1,501193662	67,168578262

q promedio	4079,877117
------------	-------------

➤ **Conclusiones:** El calor por unidad de área promedio obtenido se asemeja al que se propone empíricamente para análisis de sistemas generadores de vapor. El calor es algo mayor, puesto que los cálculos se realizaron idealmente, como es el de tomar la temperatura de llama adiabática.

Figura 25. Variación del Flujo de Calor a lo largo del Tubo de Humos



6. DISEÑO MECÁNICO

En cuanto al diseño mecánico, se realizarán los cálculos teniendo como base la sección IV y VIII del código ASME. La primera hace referencia a calderas para calefacción y la segunda hace referencia a recipientes a presión.

A continuación se seleccionará los espesores de lamina tanto del cuerpo como la placa portatubos del generador. También se determinará El diámetro máximo de una abertura que no requiera esfuerzo y el taraje máximo de la válvula de seguridad.

6.1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

- **Presión.** La máxima presión de trabajo es de 5 psi

- **Temperatura.** La temperatura de saturación de vapor según la máxima presión de trabajo es aproximadamente 106 °C

- **Dimensiones del Generador.**

-Diámetro exterior del cuerpo del generador: 14"

-Área de transferencia de calor: 2152 pulg²

6.2. SELECCIÓN DE LÁMINA

La lámina utilizada para el cuerpo del generador es acero al carbón SA 285 con una resistencia máxima permisible de 10 KSI.

6.2.1. Selección de Espesores de Lámina

➤ **Espesor del Cuerpo.** Al observar la tabla 4 de la sección IV del código ASME, se determina un espesor mínimo de 3/16" para diámetros de cuerpos igual o menor a 24" con una presión de trabajo no superior a 30 psi. Por seguridad y comercialización se seleccionó un espesor de lámina de 3/8".

Tabla 4. Espesor Mínimo Permisible para Láminas de Cuerpos de Material Ferroso

TABLA HF-301.1 MINIMUM ALLOWABLE THICKNESS OF FERROUS SHELL PLATES		
Diameter width of shell, Tubesheet, or head, in.	Minimum Ferrous Material Thicness Allowable Under Rules, in.	
	Tubesheet or head with rolled tubes	Shell plate
42 or under	5/16	1/4
Over 42 to 60	3/8	5/16
Over 60 to 78	7/16	3/8
Over 78	1/2	7/16

Nota: Shell 3/16 in. Espesor permisible para shell cilíndricos de 24 in en diámetro o menos y para presión de trabajo admisible no superior a 30 psi.

Fuente: Código ASME, sección IV

➤ **Espesor de la Placa Portatubos.** Al consultar la misma tabla se obtiene un espesor de 5/16" para un diámetro del cuerpo inferior o igual a

42". Al igual que lo anterior, por seguridad y comercialización se seleccionó un espesor de lámina de 3/8"

6.3. ABERTURAS

El diámetro máximo de una abertura que no requiera esfuerzo se determina con la figura 23 y la siguiente ecuación:

$$K = \frac{P * D}{1,6 * s * t}$$

Donde:

P = Presión máxima de trabajo permitida (5 psi)

D = Diámetro exterior del cuerpo del generador (14in)

s = Esfuerzo máximo permitido del acero (1000 psi)

t = Espesor del cuerpo del generador (3/8in)

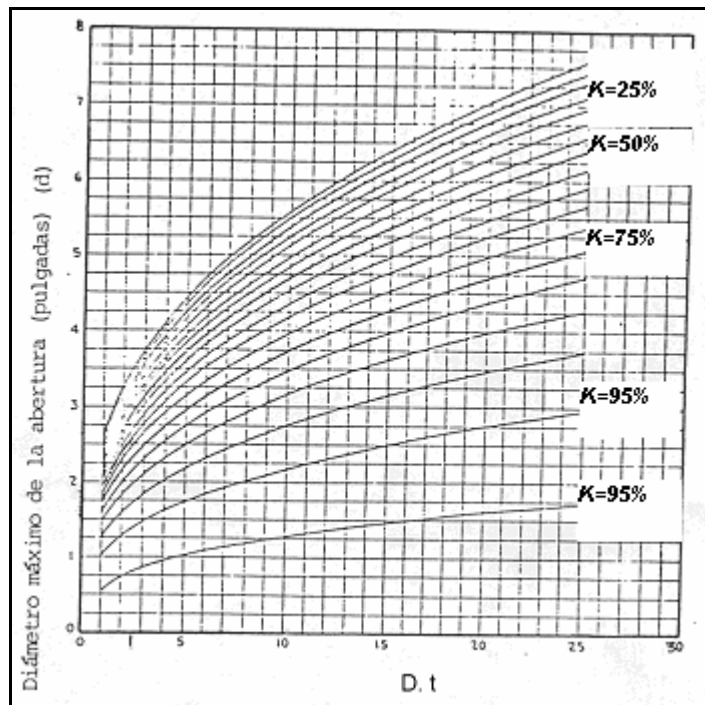
$$K = \frac{5 * 14}{1,6 * 1000 * 3/8} = 0.11 \text{ Corresponde a 11\%}$$

Según la figura 26, se debe hallar $D * t$

$$D * t = 14 * 3/8 = 5.25$$

En la gráfica se obtiene un diámetro máximo de abertura sin refuerzo de 4.8in. La máxima abertura hecha en el cuerpo es de 4 in. Por lo tanto no se necesita refuerzo en las aberturas.

Figura 26. Diámetro Máximo para una Abertura que no necesita Refuerzo



Fuente: Código ASME, sección VIII

6.4. AJUSTE VÁLVULA DE SEGURIDAD

Según las normas de recipientes a presión, para este rango de presión de trabajo y teniendo en cuenta la aplicación de este sistema; solo se requiere de una válvula de seguridad con un taraje máximo del 10% de la presión máxima de trabajo (5 psi), se taró a 6 psi.

7. DESCRIPCION GENERAL DEL GENERADOR DE VAPOR

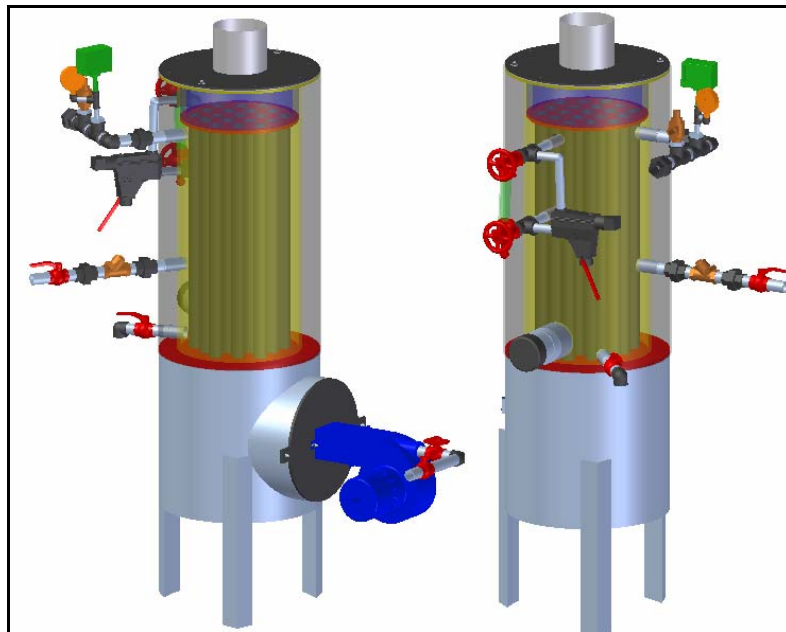
7.1. GENERALIDADES

Con el fin de hacer una introducción acerca del equipo generador de vapor para el baño turco localizado en la sede recreacional Catay, se presenta en el siguiente capítulo un estudio completo de los equipos que lo integran. Se incluyen los sistemas de alimentación de agua, vaporización de agua, de combustión, de medición. El sistema eléctrico de control y seguridad por ser de gran interés se le dedicará un capítulo aparte.

7.2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO GENERADOR DE VAPOR

En la figura 27 se observa el modelamiento del equipo, el cual se basó para la construcción del generador de vapor.

Figura 27. Modelo Generador de Vapor Baño Turco



En la tabla 5 podemos ver las especificaciones de diseño más importantes y en la figura 28 se observa la construcción final del generador del vapor

Tabla 5. Especificaciones Técnicas del Generador de Vapor

CARACTERÍSTICAS		
CLASE		PIROTUBULAR
CAPACIDAD (BTU/HR)		50.000
PRODUCCIÓN APROXIMADA DE VAPOR (LB/H)		45
RENDIMIENTO (%)		77%
NÚMERO DE PASOS		1
PRESIÓN DE DISEÑO (PSI)		5
TIPO DE COMBUSTIBLE		GAS PROPANO
PRESIÓN DEL COMBUSTIBLE (PSI)		0.5
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (LB/H)		3.1
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA (VOLTIOS)		120 / 24
TIPO DE VENTILADOR		TIRO FORZADO
VOLUMEN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN (FT³)		1.48
VOLUMEN DE LA CÁMARA DE AGUA (LTS)		50
ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR(M²)		1.38
DIMENSIONES CALDERA	DIÁMETRO (IN)	18
	ALTURA (M)	1.50
CONEXIONES	ENTRADA DE AGUA (IN)	3/4
	SALIDA DE VAPOR (IN)	3/4
	PURGA (IN)	3/4
	ENTRADA DE GAS (IN)	3/4
	SALIDA DE GASES (IN)	6
	MCDONNELL (IN)	1/2
	INSPECCIÓN (IN)	4

Figura 28. Construcción Final Generador de Vapor Baño Turco



7.3. SISTEMAS QUE CONFORMAN EL GENERADOR DE VAPOR

Los principales sistemas que conforman el generador de vapor son:

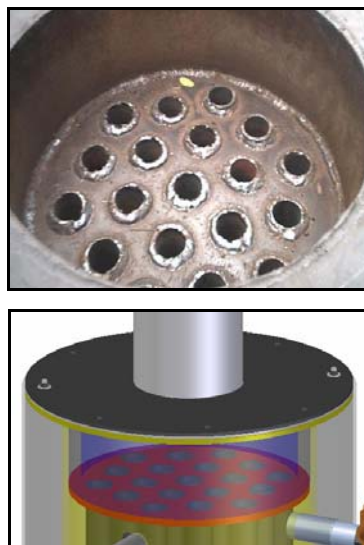
- Sistema de vaporización de agua
- Sistema de alimentación de agua
- Sistema de combustión
- Elementos de medición
- Accesorios diversos
- Sistema eléctrico, de control y seguridad.

7.3.1. Sistema de Vaporización de Agua. El sistema de vaporización de agua de la caldera requiere de una estructura hermética resistente a la presión, en su interior se alojan las placas portatubos y tubos de humos, además esta recubierta de material aislante para evitar al máximo pérdidas por transferencia de calor. El sistema de vaporización de agua lo conforman los siguientes elementos:

7.3.1.1. Cuerpo Principal. El cuerpo principal es un tubo de acero al carbón SA-285 de 3/8" de espesor con diámetro exterior de 14" y 82 cm de altura.

7.3.1.2. Placas Portatubos Superior. Construida en acero laminado A 516 de 3/8" de espesor y 13 1/4" de diámetro. Se le perforaron 19 orificios de 1.5" de diámetro con una configuración de 60° entre hueco y hueco para atravesar y soldar los tubos de humos que conducen los gases de combustión. Se encuentra soldada* a tope a la pared interna superior del cuerpo principal o casco, ver fig 29

Figura 29. Placa Portatubos Superior

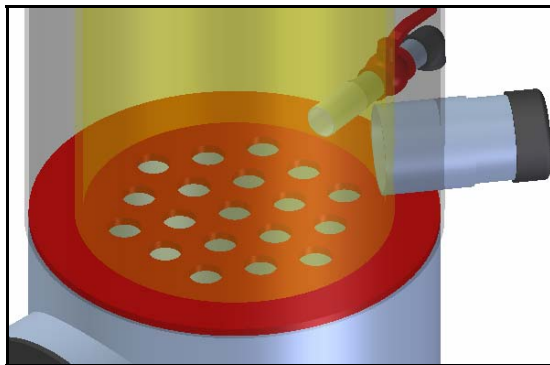


* La soldadura utilizada en toda la construcción es de arco con electrodo revestido No 7018

7.3.1.3. Placa Portatubos Inferior. Con las mismas características que la placa superior, pero con un diámetro de 18", se encuentra soldada sobre la base inferior del cuerpo principal y con la lámina que sirve de camisa a la cámara de combustión, ver figura 30.

7.3.1.4. Tubo de Humos. El equipo contiene 19 tubos de humos de 1.5" de diámetro exterior. estos conducen los gases de combustión en sentido ascendente desde la cámara de combustión hacia la chimenea. Se unen a las placas portatubos mediante soldadura .

Figura 30. Placa Portatubos Inferior



7.3.1.5. Intercambiador de Calor. En el proceso de construcción primero se arma el conjunto del intercambiador de calor antes de montarlo dentro del cuerpo principal, ver figura 31. La soldadura se aplica empezando por el tubo central y se va colocando tubo tras tubo hasta llegar a los de la periferia. También se aplica sobre la superficie superior e inferior de las placas portatubos.

Figura 31. Intercambiador de Calor



7.3.1.6. Anillo. Construida en lamina de acero de 5/16" de espesor, de 18" de diámetro exterior y 14" de diámetro interior. Se encuentra soldada a tope a la pared externa superior del cuerpo principal o casco.

7.3.1.7. Cubierta Cuerpo. Construida en lamina de aluminio calibre 20, en forma cilíndrica de 18" de diámetro y 76 cm de altura

Encierra al aislante térmico de fibra de vidrio que a su vez recubre el cuerpo principal de la caldera. Se sostiene mediante remaches a lo largo de si mismo, al anillo en la parte superior y a la placa portatubos inferior, ver figura 32.

Figura 32. Cubierta Cuerpo



7.3.1.8. Cubierta Superior. Construida en lámina de acero de 3/16" de espesor y 18" de diámetro. Se encuentra unida al anillo mediante tornillos y a la chimenea mediante una platina, ver figura 33.

Figura 33. Cubierta Superior



7.3.1.9. Cámara de Combustión. Construida de una lamina de acero de 3/16" de espesor en forma cilíndrica de 18" de diámetro y 45 cm de altura. La parte superior se solda a la placa portatubos inferior.

Esta revestida en su interior con 4 cm de espesor de cemento concrax 1300, que es un concreto refractario sílico-aluminoso denso, para aplicaciones generales en zonas cuya temperatura de trabajo no exceda 1320°C. Indicado para la construcción de bloques para quemadores, plataformas de carros de hornos túneles, revestimiento de calderas, etc. Tiene un tamaño máximo de grano de 10 mm, ver figura 34.

Figura 34. Cámara de Combustión



7.3.1.10. Aislante Térmico. Es un recubrimiento al cuerpo de la caldera hecho de fibra de vidrio de 2" de espesor, que a su vez se encuentra forrada con la cubierta exterior, ver figura 35.

Figura 35. Fibra de Vidrio



7.3.1.11. Chimenea. Construida de una lamina de coll roll calibre 18 de 6" de diámetro y 2 metros de longitud.

7.3.2. Sistema de Alimentación de Agua. En la figura 36 se identifican los principales elementos del sistema de alimentación de agua de la caldera. A continuación se hará énfasis en el análisis del agua y en la descripción de cada elemento del sistema.

7.3.2.1. Analisis de Agua. Como se explicó en el capítulo 2, el agua de alimentación de la caldera se debe tratar previamente para eliminar las sales y otras sustancias que provocan problemas de sedimentación, corrosión e incrustación en los tubos de humos. Para ello se llevó a cabo un análisis del agua que abastece la sede recreacional de Catay.

El reporte del análisis de agua se puede ver en la tabla 6 y estuvo a cargo de la empresa *CHEMSEARCH*. Una División de NCH Colombia S.A. con sede en Bogotá.

Figura 36. Elementos Principales Sistema Alimentación agua

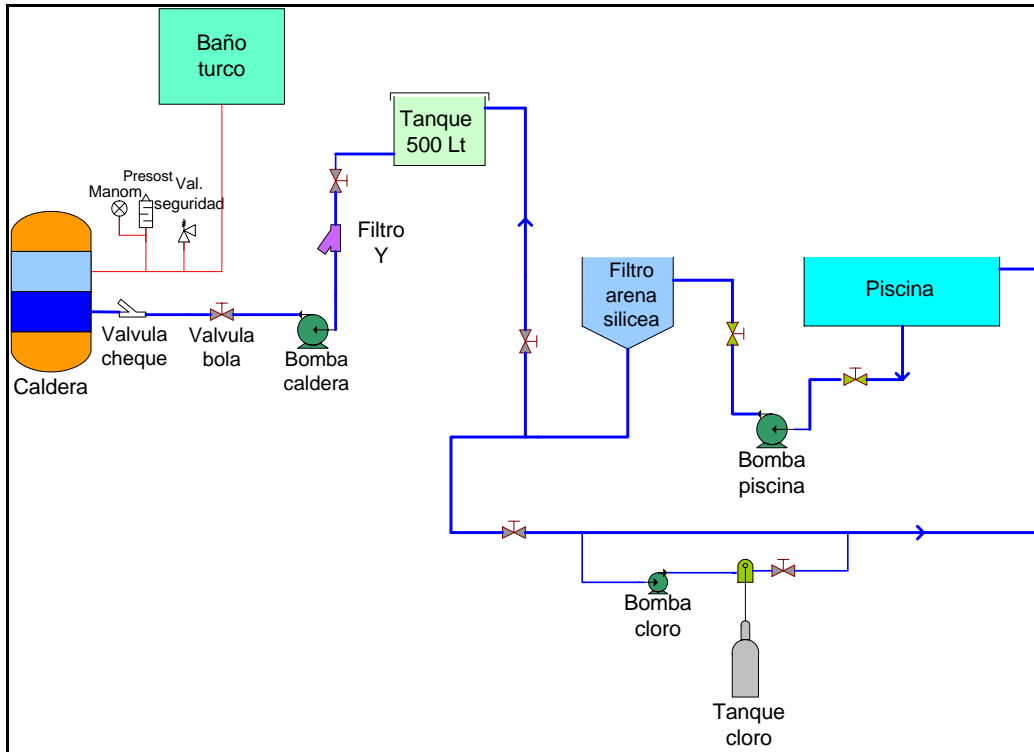


Tabla 6. Reporte de Analisis de Agua de Abastecimiento Sede Recreacional

ANÁLISIS	PORCENTAJE
COLOR	No presenta
OLOR	No presenta
TURBIDEZ	No presenta
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	170 ppm
PH	7.71
DUREZA TOTAL CaCO_3	110 ppm
ALCALINIDAD P: CaCO_3	0 ppm
ALCALINIDAD M: CaCO_3	90 ppm
SULFITOS $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	2.5 ppm
FOSFATOS PO_4	< 5 ppm
SILICE Si_2O_3	16 ppm
CLORUROS Cl	10 ppm

NOTA: Valores en partes por millón (ppm) o mgs/litro, excepto el Ph

Colaboración: Chemsearch. Una División de NCH Colombia S.A.

✓ **Recomendaciones por parte de CHEMSEARCH.** El análisis muestra un agua de dureza alta, el PH es prácticamente neutro, el contenido de sólidos totales disueltos es un poco alto y el residual de sílice es apreciable. No es la mejor agua para alimentar una caldera debido a sus contenidos de dureza y de sílice. Se puede utilizar pero la caldera requiere una dosis de BT-2000 mas alta y las purgas se deben controlar muy bien para evitar que la sílice de la caldera supere las 125 ppm. Además como esta agua puede contener sólidos en suspensión lo mejor es utilizar un floculante para mejorar la eficiencia de las purgas.

✓ **Conclusiones del Análisis de Agua.** Debido a que el vapor producido por la caldera es para un baño turco, las recomendaciones que se estipulan son las adecuadas para el funcionamiento del equipo, mas no para las personas, tras la incorporación de químicos que perjudican la salud de las mismas. A razón de este problema se toma la alternativa de aprovechar el agua tratada que circula en la piscina. Su sistema de filtrado es un filtro de arena silicea que se describirá mas adelante.

Se tomó la muestra del agua precisamente a la salida del filtro de arena, si observamos la figura 33, en ese punto del sistema, el agua sale totalmente tratada y sin la posibilidad de mezclarse con el cloro que normalmente se aplica al agua.

Se realizó un análisis de agua similar al anterior presentando las características que se ven en la tabla 7.

Tabla 7. Reporte de Análisis de Agua de Piscina Sede Recreacional

ANÁLISIS	PORCENTAJE
COLOR	TRANSPARENTE
OLOR	NO PRESENTA
TURBIDEZ	NINGUNA
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	70PM
PH	7.5
DUREZA TOTAL CaCO_3	80 PPM
ALCALINIDAD P: CaCO_3	0PPM
ALCALINIDAD M: CaCO_3	80 PPM
SULFITOS $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0 PPM
FOSFATOS PO_4	0 PPM
HIERRO TOTAL Fe^{+2} Y Fe^{+3}	
SÍLICE Si_2O_3	17
OXIGENO DISUELTO O_2	
CLORUROS Cl	80
NITRITOS NO_2	TRANSPARENTE
FOSFONATOS ATPM PO_4	NO PRESENTA

NOTA: Valores en partes por millón (ppm) o mgs/litro, excepto el pH

Colaboración: Chemsearch. Una División de NCH Colombia S.A.

✓ **Recomendaciones por parte de CHEMSEARCH.** Los análisis muestran un agua con un porcentaje considerable de cloro, los sólidos totales disueltos no son muy altos, pues se encuentra dentro del rango normal. Para permanecer con el mismo parámetro de sólidos disueltos, se debe llevar a cabo un régimen adecuado de purgas.

Este tipo de agua es fácilmente tratada con Chem Aqua 100.

✓ **Conclusiones del Análisis de Agua.** Parece obvia la determinación que se tomó, en cuanto a la selección del abastecimiento de agua para la caldera, teniendo en cuenta los resultados de los análisis de aguas y las recomendaciones correspondientes.

Para lograr bajar el porcentaje de cloro, se va a tener en cuenta las siguientes recomendaciones hechas por personal especializado en tratamiento de aguas para calderas :

- El equipo va a funcionar entre 5 y 6 horas únicamente los días domingos y sábados. Teniendo en cuenta que los primeros días de la semana, es decir lunes o martes se realizará limpieza y mantenimiento de la piscina, se recomienda que el abastecimiento del tanque de alimentación de la caldera se realice uno de estos días y mejor todavía, antes de aplicar el cloro a la piscina.
- El agua ya almacenada durante toda la semana en el tanque de 500 litros va permitir que la concentración de cloro disminuya considerablemente; para corroborar esto, se tomo una muestra de esta agua y se le hizo el análisis cotidiano que normalmente realiza el operario de la piscina. En la escala que se maneja de 0 a 3, se observó que la muestra no presentaba mas de 0.5, es decir no mas del 16 % del valor máximo, teniendo en cuenta que el porcentaje normal del agua de la piscina es alrededor de 60 a 70%, que representa aproximadamente una valor de 2 en la escala de 0 a 3.

7.3.2.2. Filtro de Arena Silicea . En este sistema figura 37, el lecho del filtro esta formado por una capa de arena de un solo calibre, cuyos granos, de procedencia silicea, se caracterizan por su extraordinaria dureza y se presentan en forma redonda, perlada sin arcilla, lodo, impurezas ni materias

orgánicas. Su poder de retención varía con la granulometría de la arena, es decir, en definitiva, con el tamaño de los canales o poros formados en el lecho filtrante. El tamaño del grano que se considera más adecuado es el comprendido entre los 0.4 mm y 0.55 mm de diámetro, con un coeficiente de regularidad.

En la mayoría de los sistemas de filtrado por arena, esta capa descansa sobre un lecho soporte de gravilla u otro material poroso, que sirve para distribuir uniformemente tanto el agua filtrada como la de lavado. Su capacidad de filtración debe ser tal que permita filtrar totalmente el volumen de agua contenido en la piscina sin emplear más de 8 horas, asegurando una superficie de paso para velocidad constante proporcional a dicha capacidad. Estos filtros trabajan por presión o gravedad.

Cada filtro, envuelto en su correspondiente carcasa de acero inoxidable o material análogo, recibe el nombre de unidad de filtrado, así como el conjunto de unidades de filtrado al servicio de una misma piscina, es denominado planta de filtrado. Tratándose de piscinas privadas de pequeño o mediano volumen, suele bastar con una unidad de filtrado.

Esta se hallará dotada de un manómetro para medir la presión del agua a la entrada y a la salida, de una válvula de descarga de aire y de una ventanilla de cristal para poder ver el interior.

7.3.2.3. Bomba de Alimentación de Agua al Tanque de Almacenamiento.

Al ver la figura 36, notamos que para alimentar el tanque de 500 Lt que abastece la caldera, se aprovecha la bomba que se utiliza para realizar el correspondiente ciclo de las piscinas, ya que esta tiene la capacidad suficiente para realizar los dos trabajos simultáneos. En la tabla 8 se presentan las especificaciones correspondientes.

Figura 37. Filtro de Arena Silicea



Tabla 8. Especificaciones de la Bomba de Abastecimiento al Tanque de Almacenamiento de la Caldera

CARACTERÍSTICAS	
<i>TIPO</i>	Turbina
<i>MARCA</i>	SIEMENS
<i>SERIE</i>	BG 1325 NRPA
<i>POTENCIA</i>	12 HP
<i>MÁXIMA VELOCIDAD DE OPERACIÓN</i>	3525 RPM
<i>VOLTAJE</i>	115/230 V
<i>AMPERAJE</i>	22/11 A

7.3.2.4. Tanque de Alimentación Caldera. El tanque que abastece la caldera es de 500 Lt, tipo flotador, ver figura 38.

7.3.2.5. Bomba de Alimentación de Agua Caldera. La función de la bomba de alimentación de agua es mantener la caldera con un nivel mínimo de agua que permita un funcionamiento continuo y seguro. La bomba se controla por un dispositivo automático tipo flotador que se acciona cuando el nivel de agua de la caldera esta por debajo del nivel normal de operación.

En la figura 39 se observa dicha bomba y en la tabla 9 se presentan las especificaciones correspondientes.

Figura 38. Tanque de Alimentación Caldera



Figura 39. Bomba de Alimentación de Agua Caldera



Tabla 9. Especificaciones Bomba de Alimentación Agua Caldera

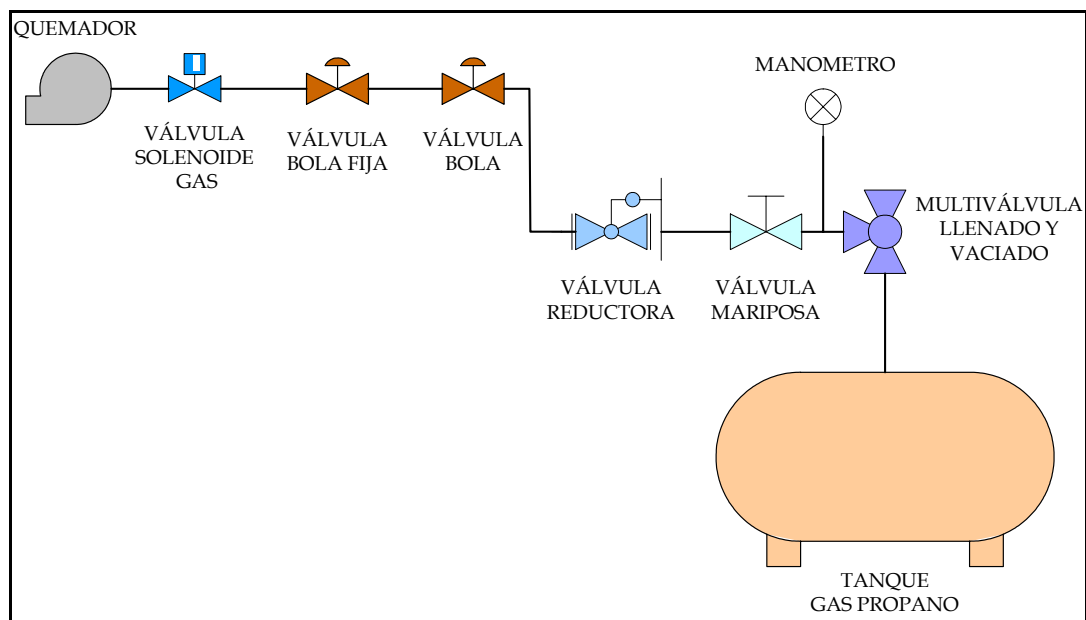
CARACTERÍSTICAS	
TIPO	TURBINA
MARCA	SIEMENS
SERIE	RF3-096-2YB99
POTENCIA	1.5 HP
MÁXIMA VELOCIDAD DE OPERACIÓN	1750 RPM
VOLTAJE	115/230 V

7.3.3. Sistema de Combustible. El sistema de combustible cumple con la función primordial de llevar el gas desde la red hasta el quemador de la caldera y proporcionar la llama adecuada para el encendido del quemador.

El sistema de combustible utiliza los siguientes dispositivos en orden de dirección de flujo de gas, ver figura 40.

- Tanque gas propano
- Multiválvula llenado y vaciado
- Válvula mariposa
- Válvula reductora
- Válvula bola
- Válvula bola fija
- Válvula solenoide gas
- Quemador

Figura 40. Sistema de Combustible



7.3.3.1. Tanque Gas Propano. El tanque contiene una multiválvula de llenado y vaciado de gas, además contiene un indicador de nivel y un manómetro que marca una presión de 40 psi. En la tabla 10 se muestran las especificaciones del tanque.

Tabla 10. Tanque Gas Propano

CARACTERÍSTICAS TANQUE GAS PROPANO	
<i>PRESIÓN TRABAJO</i>	130 psi
<i>PRESIÓN PRUEBA</i>	375 psi
<i>CAPACIDAD</i>	300 gal

7.3.3.2. Válvula Reductora de Gas. También conocido como regulador de gas. Es la encargada de tomar el gas directamente de la red y llevarlo a condiciones para su consumo en el quemador. Esto se logra reduciendo la presión de entrada de 40 psi y manteniendo la presión de salida aproximadamente constante a ½ psi. Ver figura 41.

Figura 41 . Válvula Reductora de Gas



7.3.3.3. Válvula de Bola Fija. Teniendo en cuenta que el sistema de generación de vapor al baño turco no sufre grandes alteraciones de presión, ni demanda de producción de vapor, se mantiene un consumo de

combustible constante, es por eso que se adecua una válvula de bola con cierta abertura fija que suministra el caudal de gas adecuado al quemador.

7.3.3.4. Válvula Solenoide de Combustible. La válvula solenoide de combustible es la encargada de controlar el paso del gas propano al quemador de la caldera que a su vez es manejada por el programador (Fireye), siguiendo una secuencia y unos controles de seguridad.

✓ **Funcionamiento.** Cuando es energizado, el actuador de la válvula, el vástago se desplaza hacia arriba permitiendo el flujo de gas al actuador. En esta posición permanece la válvula hasta que por algún motivo se corte el suministro de energía o cuando algunos de los elementos de control abran el circuito, momento en el cual el resorte reposicionador devuelve el vástago hacia su posición original, cortando inmediatamente el flujo de combustible.

En la figura 42 se observa la válvula solenoide de combustible y en la tabla 11 se presentan las especificaciones correspondientes.

Figura 42. Válvula Solenoide de Gas



Tabla 11. Especificaciones Válvula Solenoide de Gas

CARACTERÍSTICAS	
MARCA	Uni-D
MODELO	UW-20
VOLTAJE	110 V
TEMPERATURA ADECUADA FLUIDO	-5 °C – 99 °C
PRESIÓN DE RABAJO	0.5 psi
CONEXIÓN	3/4"

7.3.3.5. Quemador. El quemador adquirido esta conformado por un cuerpo en forma cilíndrica hecha en fundición de aluminio. Tiene una capacidad regulable de 40.000 a 150.000 BTU/hr, ver figura 43.

Figura 43. Quemador



El gas se suministra al quemador a través de un tubo de cobre de 3/4 " con una serie de perforaciones en su extremo con el fin de encontrar una mezcla adecuada de aire-combustible. Además en su extremo se observa el electrodo de ignición conectado al cable tipo bujía, el cual va directo a la tarjeta controladora.

El aire de combustión en el quemador es regulado manualmente y esta suministrado por un ventilador tipo extractor, impulsado por un motor de las siguientes características, ver tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones Motor del Quemador

CARACTERÍSTICAS	
MARCA	BECKETT
MODELO	SD556YDRZ-2582
POTENCIA	1/4 HP
VELOCIDAD	3450 / 2850 RPM
TEMPERATURA AMBIENTE	40 °C
VOLTAJE / CORRIENTE	120 V / 3,5-4 AMPERIOS
SEGURIDAD	THERMALLY PROTECTED

Fuente: BECKETT. Quality Oil Burners for Original Equipment or Replacement Installation

7.3.4. Elementos de Medición. Entre los elementos de medición se incluyen manómetros, visores de nivel de agua, termómetros, detectores de llama, los cuales miden los parámetros operativos de la caldera.

7.3.4.1. Manómetro. Manómetro tipo carátula de conexión de ¼” y un rango de presión de 0 hasta 30 psi.

7.3.4.2. Termómetro. Se dispone de un termómetro de mercurio con una escala de 0 hasta 100 °C para medir la temperatura del cuarto.

7.3.4.3. Visor de Nivel. Construido en vidrio para conexión de ½” ajustándose mediante dos mariposas al controlador de nivel de agua. Allí se puede observar la variación del nivel de la caldera.

7.3.4.4. Detector de Llama. El detector de llama es un electrodo fabricado de una aleación de Kantal. Utiliza el principio de ionización, el cual al tener el

gas muy caliente, este se ioniza y si se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos en el seno de la llama, se inducirá una corriente eléctrica en micro-amperios entre los puntos. Si la llama falla, la corriente no fluirá y se abrirá el circuito.

El electrodo trabaja como sensor de llama e ignitor de chispa simultáneamente, gracias a que la tarjeta Fireye lo permite. De lo contrario se necesitaría una varilla de acero inoxidable o túxteno para realizar la ignición de la corriente eléctrica de 12000 Volt aproximadamente.

7.3.5. Accesorios Diversos

- **Válvulas.** Las válvulas utilizadas para cierre son de tipo bola, y para aplicaciones direccionales se utilizaron válvulas cheques.

- **Filtro en Y.** Para tener un mayor control de las partículas se monto un filtro en Y a la salida de la bomba de alimentación de la caldera. Este filtro contiene en su interior una malla envuelta que retiene impurezas fácilmente visibles como son los sólidos en suspensión

- **Conexiones Galvanizadas.** conexiones de dispositivos y orificios de entrada y salida, se comunican mediante uniones roscadas de acero galvanizados de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " y están soldadas sobre las perforaciones del cuerpo principal de la caldera. A partir de ahí se roscan níples, codos, tes, juntas universales, todas de acero galvanizados para presiones hasta de 300 psi.

8. SISTEMA ELÉCTRICO, DE CONTROL Y SEGURIDAD DEL GENERADOR DE VAPOR

8.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dará la base teórica del funcionamiento y la información técnica de cada uno de los elementos de control que se utilizaron en el generador de vapor.

Después se dará a conocer el esquema eléctrico del generador de vapor y se describirá la correspondiente secuencia lógica.

8.2. ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD

8.2.1. Panel de Control. Dentro del panel de control figura 44, se encuentra el elemento principal de programación (FIREYE) y los elementos de operación como:

- Temporizador de 8 pines (TIMER 30 seg) 110/220 VAC 50/60 hz
- Contactor de encendido de bomba
- Relé de 24 voltios de corriente alterna de 11 pines
- Relé de 120 voltios de corriente alterna de 8 pines
- Transformador de 120 a 24 voltios
- Interruptor manual termo-magnético
- 2 Pulsadores y 2 pilotos indicadores de encendido y apagado

Figura 44. Panel de Control



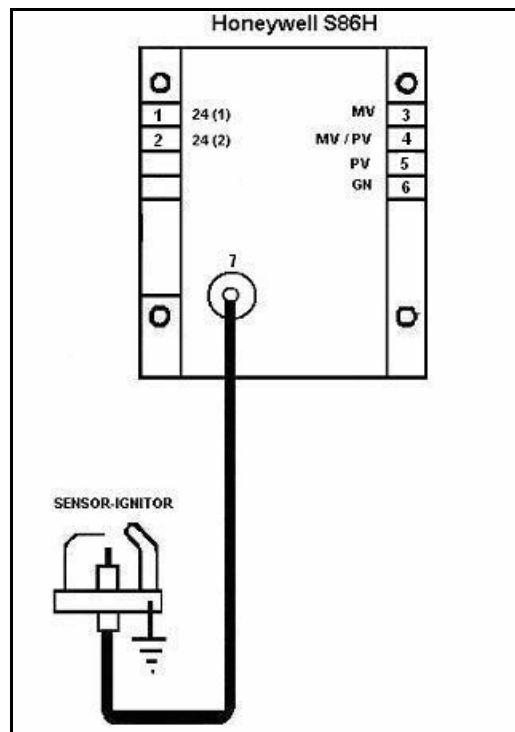
8.2.2. Tarjeta Principal de Control Fireye “Honeywell S86H”. Elemento encargado de efectuar y controlar todas las secuencias programadas del proceso de encendido, operación, parada y seguridad de la caldera.

La tarjeta de control tiene la ventaja de permitir la adaptación de un sensor-ignitor. Este como su nombre lo indica, sensa llama y genera chispa de ignición a unos 12.000 Voltios provenientes del transformador electrónico que contiene la misma.

La tarjeta S86H dispone de una seguridad de llama de un periodo de 90 segundos tanto la detección de llama como generación de chispa simultáneamente. Después de este tiempo, al no presentarse llama ó ser esta irregular, el sistema sufre una parada automática.

En la figura 45 y en la tabla 13 se observa el esquema y especificaciones correspondiente al controlador Honeywell S86H.

Figura 45. Controlador Fireye



Fuente: Boiler Manual Honeywell

Tabla 13. Controlador Fireye

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE ESTADO SÓLIDO FIREYE	
MARCA	HONEYWELL
SERIE	S86H
TIPO	INTERMITTENT PILOT 100% SHUTOFF
FUENTE	24 V
SEGURIDAD	90 SEC MAX TRIAL FOR PILOT IGNITION
PESO	3 lb

Fuente: Boiler Manual Honeywell

A continuación se presenta la tabla que describe los terminales y conexiones del FIREYE

Tabla 14. Terminales y Conexiones del Fireye

TERMINAL	CONEXIÓN
1	FASE 24 V
2	NEUTRO
3	VÁLVULA PRINCIPAL
4	COMÚN
5	VÁLVULA PILOTO
6	TIERRA
7	SENSOR - IGNITOR

Fuente: Boiler Manual Honeywell

8.2.3. Control del Límite de Presión de Vapor. El controlador de presión de vapor es el encargado de abrir el circuito de la válvula solenoide de gas de la caldera cuando se alcanza una presión límite superior, suministrando así una protección automática a sobrepresiones, ver figura 46.

La caldera presenta un sistema de control ON-OFF, que permite que el control limite de presión cierre y abra el circuito de la válvula de gas dentro de un rango de presión de 0 a 6 psi. El interruptor cuenta con dos escalas; una principal que fija el límite máximo de presión donde se cierra el suministro de gas y una auxiliar en substracción que fija el límite mínimo de funcionamiento, donde automáticamente se reestablece el flujo de gas. En la tabla 15 se observan las especificaciones mas importantes del controlador de presión.

- **Ventajas de los Presostatos KPI Danfoss**

- ✓ Los presostatos KPI son idóneos para instalaciones en contacto con medios líquidos, medios gaseosos y aire

- ✓ Provistos de un conmutador inversor unipolar (SPDT). El conmutador funciona de acuerdo con el ajuste del presóstato y de la presión reinante en la conexión de entrada.
- ✓ Amplia gama de regulación.
- ✓ Se puede utilizar para bombas y compresores.
- ✓ Pequeñas dimensiones, sencillo de montar en paneles.
- ✓ Seguro contra vibraciones y golpes.
- ✓ Tiempos de disparo ultra-cortos Limita el desgaste al mínimo absoluto y aumenta la fiabilidad.
- ✓ La conexión eléctrica se efectúa por la parte delantera del aparato. Esto facilita el montaje en batería y ahorra espacio.
- ✓ Adecuados para c.a. y c.c.
- ✓ Las entradas de cable son sencillas de cambiar por entradas estándar roscadas.

Figura 46. Presostato Tipo kpi 35



Fuente: Danfoss. Presostatos y Termostatos, tipo KPI y KP



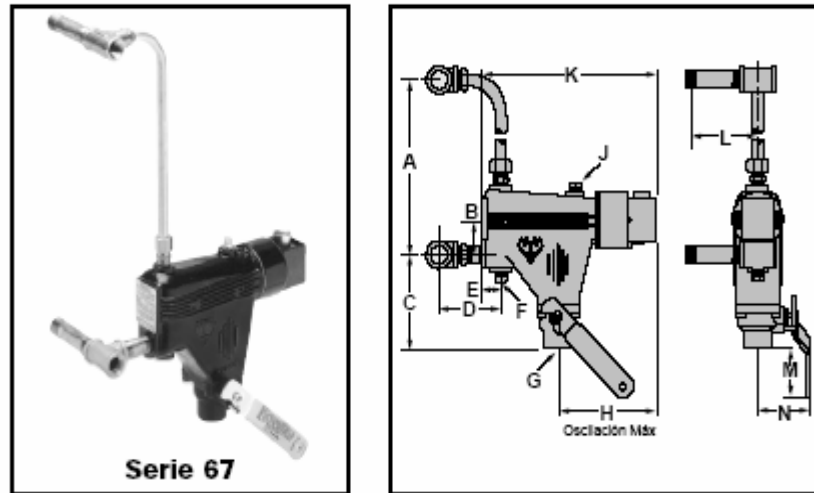
Tabla 15. Control Límite de Presión.

ESPECIFICACIONES DEL CONTROL DE PRESIÓN LÍMITE		
MARCA		DANFOSS
TIPO		KPI 35
ESCALA PRINCIPAL		0-110 PSI
ESCALA DIFERENCIAL		6-20 PSI
PRESIÓN DE TRABAJO ADMISIBLE		260 PSI
PRESIÓN DE PRUEBA MÁXIMA		260 PSI
TOMA D E PRESIÓN		¼"
MATERIAL DE LOS CONTACTOS		AG
TEMPERATURA FLUIDO MAX		120 °C
TEMPERATURA FLUIDO MIN		-40 °C
TEMPERATURA AMBIENTE MAX		65 °C
TEMPERATURA AMBIENTE MIN		-40 °C
PARTES EN CONTACTO CON EL FLUIDO	ELEMENTOS DEL FUELLE	BRONCE AL ESTAÑO
	TOMA DE PRESIÓN	LATÓN

8.2.4. Control de Nivel de Agua. El control de nivel de agua permite detectar y mantener un nivel de agua en la caldera, controlando el arranque y parada de la bomba de alimentación de agua, además de interrumpir el circuito de la válvula solenoide de gas cuando el nivel desciende demasiado. El control de nivel de agua McDonnell **serie 67***, figura 47, consiste de un flotador construido de un material resistente a la presión que comunica con dos interruptores de gota de mercurio especialmente diseñados para servicio a altas temperaturas y presiones hasta 20 psi.

* El controlador de nivel McDonnell 67 se seleccionó en base a la tabla 1 del capítulo 3

Fig 47. Control de Nivel de Agua Mcdonnell No 67



Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog



A continuación se observan las especificaciones técnicas del controlador de nivel:

Tabla 16. Especificaciones del Control de Nivel de Agua Serie 67

CARACTERÍSTICAS	
PARA USO RESIDENCIAL Y COMERCIAL	
PARA CALDERAS DE VAPOR DE CUALQUIER CAPACIDAD	
CON ACOPLAMIENTO PARA MONTAJE RÁPIDO	
OPERADO POR PALANCA, VÁLVULA DE BOLA PARA PURGA FÁCIL	
ENCHUFE AJUSTABLE BX PARA FÁCIL INSTALACIÓN	
INTERRUPTORES DOBLES DE PRECISIÓN PARA OPERACIÓN CONFIABLE DEL CONTROL DE BAJO NIVEL DE AGUA, ALARMA O ALIMENTADOR ELÉCTRICO DE AGUA	
CARACTERÍSTICAS OPTATIVAS:	Interruptores de bajo voltaje para circuitos que autogeneran milivolt Interruptor de reset manual
CÁMARA GRANDE DEL FLOTADOR	
MÁXIMA PRESIÓN DE VAPOR 20 PSI (1.4 KG/CM ²)	

Especificaciones Eléctricas

Voltage	Especif. interrup. motor (A)		Cap. prueba
	Plena carga	Rotor bloq.	
120 VCA	7.4	44.4	125 VA a 120 o 240 VCA
240 VCA	3.7	22.2	

Dimensiones, pulg. (mm)

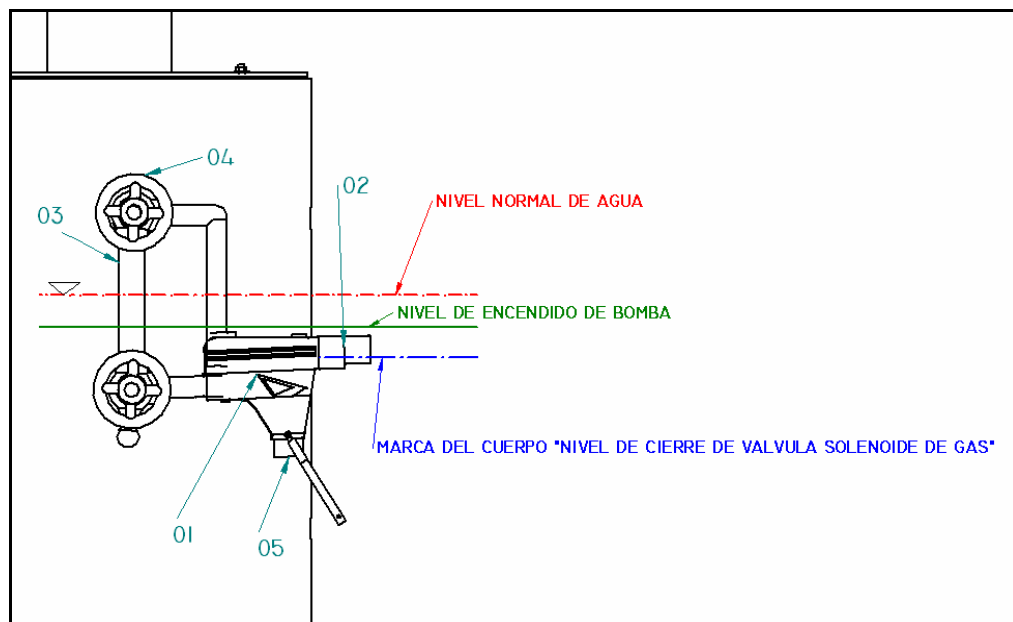
A		B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
min.	máx					NPT	NPT		NPT				
6 ¹ / ₂ (165)	14 (356)	1 ³ / ₄ (45)	4 ³ / ₄ (121)	3 ³ / ₈ (86)	1 ¹ / ₈ (29)	³ / ₈	³ / ₄	5 ¹ / ₂ (140)	¹ / ₄	9 ²³ / ₃₂ (247)	3 ⁹ / ₁₆ (90)	2 ¹ / ₂ (64)	2 ¹³ / ₁₆ (71)

Fuente: McDonnell & Miller 2001-2002. Replacement Parts Catalog

- **Funcionamiento del Controlador de Nivel de Agua.** El nivel del agua en la cámara del control de bajo nivel de agua mimetiza el nivel del agua en la caldera. Como el nivel del agua disminuye en la caldera al producirse vapor, el nivel y el flotador en el dispositivo también caen. El control de nivel se instala de tal manera que la línea horizontal marcada sobre el cuerpo, este a 4 cm por debajo del nivel normal de la caldera.

El circuito de encendido de la bomba se completa siempre que el nivel de la caldera baje aproximadamente 3.5 cm con respecto al nivel normal marcado en el cuerpo de control de nivel. Pero cuando el nivel de agua llegue a la línea horizontal marcada en el cuerpo de fundición, es decir 0.5 cm mas abajo, el circuito de la válvula solenoide de gas será interrumpido, pero el ventilador del quemador continuará trabajando indefinidamente con el fin de mantener seguridad al evacuar los gases de combustión, ver figura 48.

Figura 48. Niveles de Operación del Controlador de Nivel



- 01: Controlador de nivel de agua McDonnell serie 67
- 02: Caja de contactos eléctricos
- 03: Visor de nivel de agua
- 04: Mariposa
- 05: Válvula de purga del controlador

8.2.5. Control de Temperatura del Recinto. El controlador de temperatura del recinto, normalmente llamado termostato, es el encargado de apagar el equipo cuando se alcanza una temperatura límite superior, suministrando así una protección automática a elevadas temperaturas no aptas para el cuerpo humano.

El termostato cuenta con dos escalas, una principal que fija la temperatura máxima del recinto, para los baños turcos la recomendada no supera los 50 °C, donde se interrumpe el circuito de la válvula de gas. La diferencia que es un valor fijo para estos controladores de aproximadamente 2 a 3 °C y que impone el límite mínimo de funcionamiento, donde automáticamente se restablece el servicio de gas.

El termostato utilizado se basa en el principio de expansión de fluido. Al calentarse o enfriarse el bulbo, el mercurio se expande o contrae y sube por el tubo transmisor y mueve un diafragma, por consiguiente este cierra o abre un contacto y genera la señal al controlador FIREEYE cuando ocurre una variación de temperatura.

El termostato cuenta en su escala principal con un rango que va de 0 a 90°C, basta con mover la perilla y determinar la temperatura límite superior deseada.

8.2.6. Válvula de Seguridad. Se utilizó una válvula de seguridad marca HELBERT, Modelo HNVA 012 de ½", calibrada a 15 psi, ver figura 49.

Figura 49. Válvula de Seguridad



8.3. SECUENCIA LÓGICA

El circuito de la figura 50 y 51 muestra el cableado esquemático y físico respectivamente de control y potencia del generador de vapor.

8.3.1. Secuencia de Encendido. El sistema se energiza por medio del interruptor manual termo-magnético (Io) que simultáneamente enciende la luz piloto roja, indicando la existencia de energía pero totalmente apagado el generador.

El generador se prende por medio del pulsador I1 y se lleva a cabo lo siguiente:

- Se energiza el relé de encendido del motor del ventilador CR1. Entra solo aire a la cámara de combustión y empieza el periodo de prepurga o barrido de gases durante 30 segundos. Este tiempo se rige por el temporizador y al cabo de este periodo se cierra el respectivo contacto CT.

- Se desenergiza la luz piloto de apagado y al vez se enciende la luz piloto de encendido del sistema.
- Si el nivel de agua se encuentra por debajo del nivel mínimo establecido por el controlador de agua, se enciende la bomba por medio del contactor CR2 hasta llegar al nivel normal de la caldera.
- Al tener todos los controles adecuados de operación tales como: nivel de agua, presión de vapor, temperatura del recinto y tiempo mínimo de barrido, se da energía a la tarjeta de control; la cual suministra energía tanto a la válvula solenoide de gas por medio del relevo de 24 voltios CR3 y al electrodo de chispa de ignición, permitiendo llama continua hasta que algún control de operación abra el circuito.

8.3.2. Post-encendido. Durante este periodo, se alimenta continuamente al quemador con aire y combustible a una rata constante. En este momento se cuenta con una presión cero, la cual va aumentado hasta llegar a la presión de régimen. La presión de trabajo baja repentinamente siempre que haya reposición de agua o abertura del circuito de control.

8.3.3. Régimen. Durante la operación normal del generador de vapor, el circuito de abertura de válvula de gas puede ser provocado por condiciones extremas de trabajo. Estas pueden ser:

- La presión suba por encima de la presión establecida por el control limite de presión de vapor. Se reestablece el servicio una vez se haya establecido la presión de trabajo.
- La temperatura del recinto suba por encima de la temperatura establecida por el termostato. Se cierra el circuito una vez la temperatura

descienda tantos grados como el controlador de temperatura lo haya establecido.

- Que el nivel de la caldera descienda repentinamente mas de lo establecido por el controlador de nivel de agua. Este nivel se localiza exactamente donde se observa la marca sobre la fundición del controlador.

8.3.4. Parada de Seguridad. El equipo se apaga completamente, si la tarjeta de control registra que al cabo de 90 segundos el sensor-ignitor no detecta llama o esta es irregular. Cabe recordar que al cabo de este periodo, se esta sensando llama y generando chispa simultáneamente.

Figura 50. Cableado Esquemático de Control y Potencia del Generador de Vapor

- Io = Taco manual termo magnético
- I1 = Pulsador de encendido
- I2 = Pulsador de apagado
- P1= Luz piloto de apagado generador
- P2= Luz piloto de encendido generador
- CR1 = Relé del motor del ventilador
- CR2 = Contactor del motor de la bomba alimentación
- CR3 = Relé de 24 voltios de válvula solenoide
- T.CONTROL= Tarjeta control HONEYWELL S86H
- CT= Temporizador
- CN1= Control de nivel de agua (1)
- CN2= Control de nivel de agua (2)
- KP= Control de limite de presión (Presostato)
- TEMP= Control de limite de temperatura (Termostato)
- MV= Motor del ventilador del quemador
- MB= Motor de la bomba de alimentación
- S = Bobina del Solenoide de la Válvula de gas

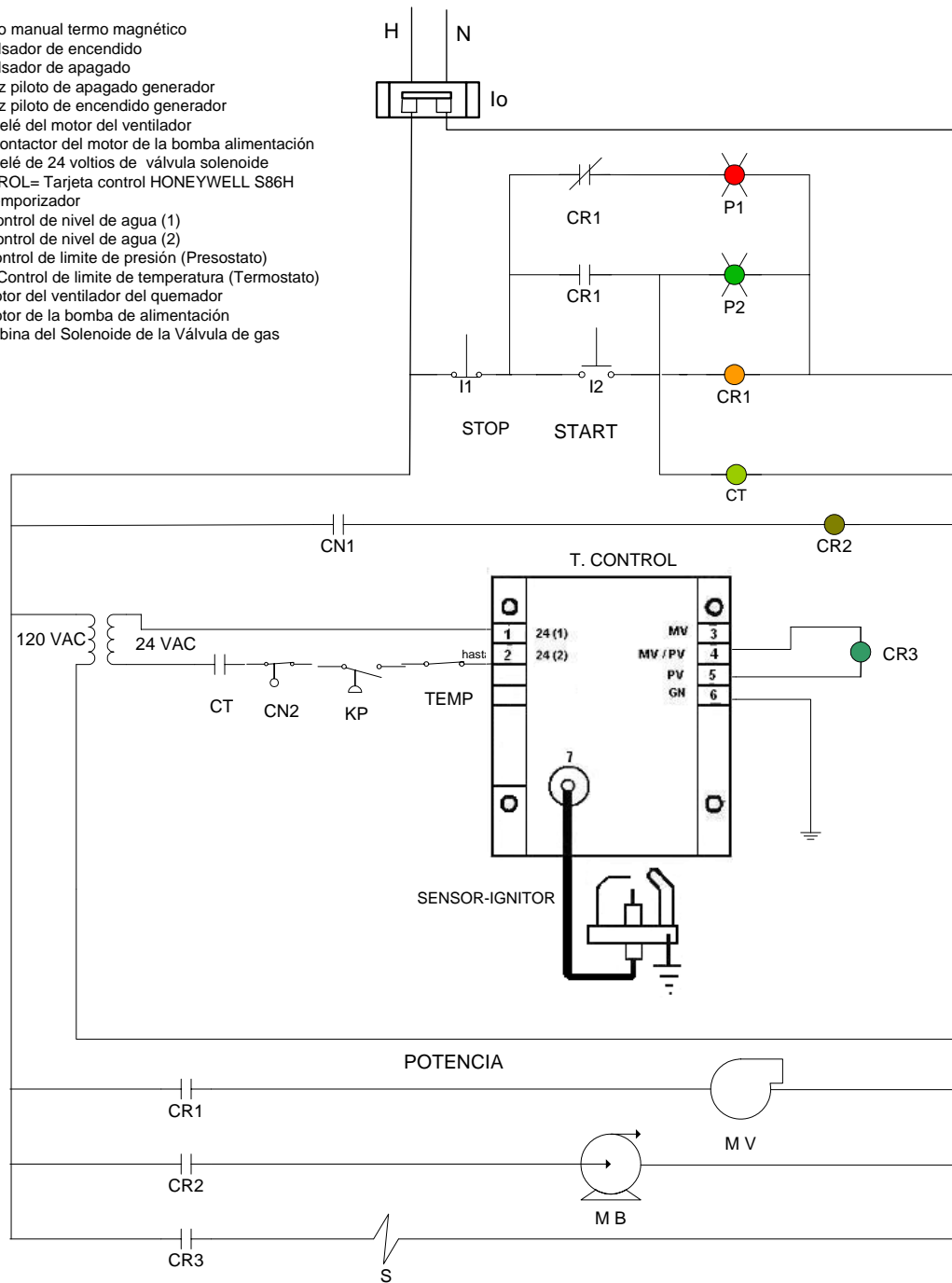
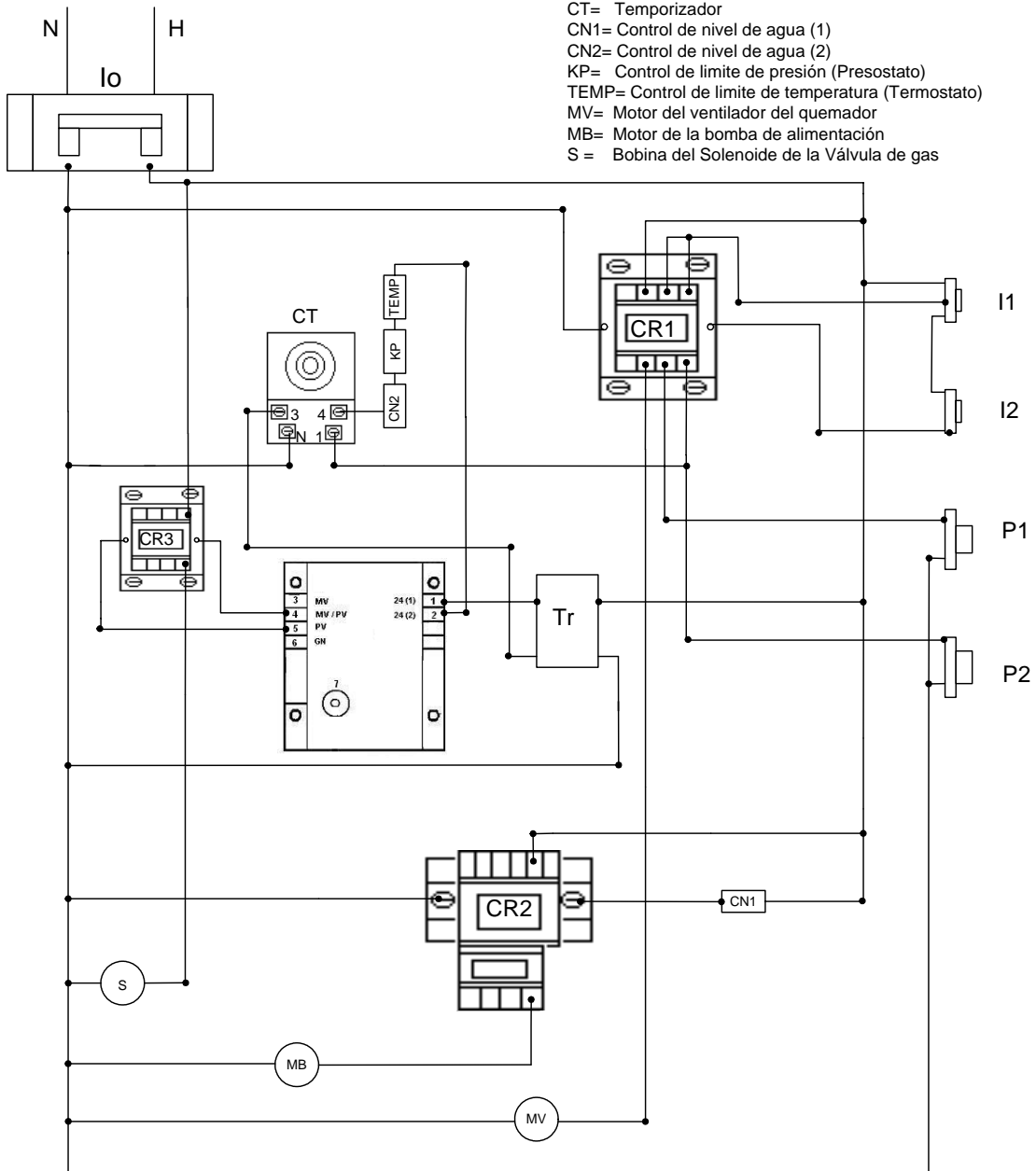


Figura 51. Cableado Físico de Control y Potencia del Generador de Vapor

- Io= Taco manual termo magnético
- I1 = Pulsador de encendido
- I2 = Pulsador de apagado
- P1= Luz piloto de apagado generador
- P2= Luz piloto de encendido generador
- CR1 = Relé del motor del ventilador
- CR2 = Contactor del motor de la bomba alimentación
- CR3 = Relé de 24 voltios de válvula solenoide
- T.CONTROL= Tarjeta control HONEYWELL S86H
- TR= Transformador de 24 voltios
- CT= Temporizador
- CN1= Control de nivel de agua (1)
- CN2= Control de nivel de agua (2)
- KP= Control de limite de presión (Presostato)
- TEMP= Control de limite de temperatura (Termostato)
- MV= Motor del ventilador del quemador
- MB= Motor de la bomba de alimentación
- S = Bobina del Solenoide de la Válvula de gas



9. PRUEBAS DE CAMPO

9.1. PRUEBA HIDROSTATICA

Para esta prueba se llenó completamente el generador de vapor a una presión de 100 psi a temperatura ambiente.

La soldadura y el cuerpo no tuvo inconveniente para soportar esta presión y cumplieron con las normas establecidas en la sección IV y sección VIII del código ASME para equipos de calefacción.

9.2. AJUSTE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La prueba del consumo de combustible fue satisfactoria. Se adaptaron dos válvulas de bola antes de la válvula solenoide de gas, la primera que permite la abertura y cierre del gas manualmente y la segunda se ajustó a una abertura fija y se elimina el mango de cierre para evitar ser manipulada por alguna persona.

Se ajustó el consumo de combustible teniendo en cuenta lo siguiente:

- La producción de vapor adecuada al cuarto, es decir buscar el punto ideal para garantizar el confort de las personas.
- Que el aumento en la temperatura del cuarto sea demasiado lento. Con esto se busca en lo posible que el sistema no se apague por control de límite de temperatura (50 °C). Se experimentó llegar a estas condiciones de temperatura, se noto que la inercia térmica eleva uno o mas grados

centígrados la temperatura del cuarto. Tardó un promedio de 8 minutos en bajar la temperatura a un valor de 47 °C y por consiguiente volver a encenderse el sistema. La temperatura de 47 °C la fija el mismo termostato, ya que el mantiene un diferencial de 3 °C aproximadamente.

Después de varios ensayos se logró establecer el consumo ideal de combustible y se obtuvo el siguiente resultado:

- ✓ En una sesión normal de 6 horas de producción continua de vapor no se registró ninguna abertura del circuito provocado por limite máximo de temperatura.
 - ✓ La temperatura mas estable del cuarto durante las tres primeras horas fue alrededor de 41 °C, A partir de ahí subió lentamente y al final de la sesión se registro 48 °C como la máxima temperatura alcanzada por el cuarto.
 - ✓ La presión de vapor se mantuvo en no mas de 2 psi.
- **Rata Másica de Gas.** Para determinar la rata masica de gas propano, se instaló un contador provisional de gas domiciliario, con las siguientes características

Tabla 17. Contador de Gas Domiciliario

ESPECIFICACIONES	
MARCA	YAZAKI METER
MODELO	VY2A
Q MAX	2.5 M ³ /h
Q MIN	16 dM ³ /h
V_o	1.2 d M ³
P MAX	9.8 KPa

$$m_{gas} = \rho * V_{gas}$$

$$\rho = \text{Densidad del gas propano a 0.5 psi y 25 } ^\circ\text{C} = 1.89 \text{ Kg/ m}^3$$

$$V_{gas} = \text{Caudal de gas propano registrado por el contador a 0.5 psi} = 6.5 \text{ L/min}$$

$$V_{gas} = 0.39 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_{gas} = 1.89 \text{ Kg/ m}^3 * 0.39 \text{ m}^3/\text{h} = 0.73 \text{ Kg/h}$$

$$m_{gas} = 1.62 \text{ lb/h}$$

9.3. PRODUCCION DE VAPOR

Esta medición se realizó en funcionamiento a régimen estable. Se observó una variación de presión entre 0 y 2 psi. La rata de vapor se estima midiendo el tiempo entre la abertura del circuito de la bomba al final de una reposición y la siguiente reposición. Es decir el tiempo que gasta la caldera en evaporar el volumen de agua de reposición.

➤ **El volumen de reposición es:**

$$\Delta V = A * H$$

A: área neta de superficie de agua:

$$A = \pi/4 * (14^2 - 19 * 1.5^2)$$

$$A = 120,36 \text{ in}^2$$

$$A = 776 \text{ cm}^2$$

H: variación nivel de agua durante una reposición y otra = 3.5 cm

$$\Delta V = 776 \text{ cm}^2 * 3.5 \text{ cm} = 2716 \text{ cm}^3$$

➤ **Tiempo Promedio entre una y otra Reposición de Agua:**

$$\Delta t = 14 \text{ minutos}$$

➤ **Flujo Másico de Vapor:**

$$M_{\text{vapor}} = \rho * \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Considerando una densidad del agua de 955 kg/m³ a la presión de régimen estable que normalmente marca el manómetro de 2 psi.

$$M_{\text{vapor}} = 955 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.01164 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 11.12 \text{ Kg/h}$$

$$M_{\text{vapor}} = 24.5 \text{ Lb/h}$$

9.4. EFICIENCIA DEL GENERADOR

$$\eta = \frac{Q_{\text{salida}}}{Q_{\text{entrada}}}$$

- Q_{Salida} : El calor total que recibe el agua para llegar al estado de vapor saturado

$$Q_{Salida} = m_{H2O} * (hg_{104} - hf_{25})$$

$$hg_{104} = 1152 \text{ BTU/lb} \quad (\text{Entalpía de vapor saturado a 2 psi ó } 104^{\circ}\text{C})$$

$$hf_{25} = 45 \text{ BTU/lb} \quad (\text{Entalpía liquido a } 25^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{Salida} = 24.5 \text{ Lb/h} * (1152 \text{ Btu/lb} - 45 \text{ Btu/lb}) = 27.121 \text{ Btu/h}$$

- $Q_{Entrada}$ = Calor entregado por el combustible

$$Q_{Entrada} = m_{comb} * H_{com}$$

$$Q_{Entrada} = 1.62 \text{ lb/h} * (21.698 \text{ Btu/lb}) = 49.905 \text{ BTU/ h}$$

$$\eta = \frac{27.121 \text{ Btu/h}}{35.222 \text{ Btu / h}} = 0.77$$

$$\eta = 77\%$$

9.5. CONTROL DE NIVEL DE AGUA

No se necesitó ajuste alguno para este controlador por que los niveles de operación de estos dispositivos vienen calibrados directamente de fabrica, se midió la variación nivel de agua durante una reposición y otra como se hizo en la prueba de producción de vapor y la que provoca el cierre de la válvula solenoide de gas, estos valores son 3.5 cm y 0.5 cm respectivamente.*

* La representación de estos niveles de operación se pudo observar en la figura 48 del capítulo 8.

9.6. CONTROL DE PRESION Y VALVULA DE SEGURIDAD

Para esta prueba se instaló una válvula de bola provisional a la salida del vapor, para comprobar el ajuste del presóstato y el taraje de la válvula de seguridad.

Como se mencionó anteriormente el sistema trabaja a 2 psi en funcionamiento a régimen estable. De esta manera se ajustó el límite superior de presión del controlador a 5 psi y un diferencial de 4 psi. Se cerró lentamente la válvula y se pudo comprobar el funcionamiento adecuado del controlador de presión, pues al llegar a 5 psi se abrió el circuito de operación y al cabo de un momento, al bajar la presión a un valor de 1 psi se reinició el sistema.

En cuanto a la válvula de seguridad, se hizo la misma operación que lo anterior, se cerró la válvula gradualmente y se comprobó la abertura de la válvula de seguridad a una presión de 6 psi como esta ajustada normalmente.

9.7. ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO

El acondicionamiento es una limpieza química que normalmente se debe hacer a todos los generadores de vapor con el fin de remover depósitos de incrustaciones, mineral o limo que se forma sobre el cuerpo, placas y tubos del equipo. Para realizar el acondicionamiento se utilizó 20 litros de limpiador químico SKALE-X, distribuido por la empresa Kernite con sede en Bogotá.

El limpiador químico remueve el recubrimiento temporal que se encuentra sobre la superficie externa de los tubos de humos. El recubrimiento es indispensable para evitar la oxidación de los tubos cuando estos se

encuentran almacenados en bodega. Al eliminar esta capa se aumenta la transferencia de calor y por ende la eficiencia del equipo.

El químico además remueve cemento, cal, baldosa de cerámica, piedra, bloques de concreto, etc.. Se recomienda hacer este lavado cada 6 meses.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- Se cumplieron satisfactoriamente los objetivos trazados en el plan de trabajo al diseñar, construir y montar un sistema de generación de vapor para la sede recreacional Catay.
- Se realizaron pruebas funcionales de los controles de operación como presión, nivel de agua, presencia de llama y temperatura, dando como resultado un funcionamiento adecuado.
- La eficiencia térmica obtenida y el desempeño son bastante aceptables.
- El consumo de combustible para la adaptación de este quemador es satisfactorio en lo que respecta al calor y estabilidad de la llama.
- Para obtener una correcta calibración del quemador se agujeró la boquilla del gas con el fin de producir aspersion del gas en dirección radial y mejorar la mezcla.
- El tiempo que tarda el equipo en generar vapor es aproximadamente 10 minutos. Tiempo aceptable para las condiciones del sistema.
- Se realizó satisfactoriamente los análisis del estado de cada agua que se disponía para abastecer la caldera, logrando así tomar la mejor alternativa para proteger en lo posible al equipo contra la corrosión e incrustación sobre la superficie de calentamiento.

- Se observó que el acondicionamiento de la caldera es indispensable para su funcionamiento, ya que hizo posible la remoción de depósitos de la superficie del cuerpo, el recubrimiento temporal que se encuentra sobre la superficie externa de los tubos de humos y a simple vista durante las purgas, el agua se observó mas limpia y clara
- La geometría de la cámara de combustión permite realizar un adecuado mantenimiento en lo que respecta a la facilidad de reemplazar el refractario cuando este sea necesario.
- El desarrollo de este trabajo de grado dió la oportunidad a los autores del mismo en adquirir destreza en la adquisición y manejo de materiales disponibles en el mercado nacional y también al enfrentarse a una serie de problemas que se crean en los procesos de construcción y montaje.

BIBLIOGRAFÍA

AMELL, Andres y BARRAZA, Lorenzo. Quemadores Atmosféricos con Llama de Premezcla, Grupo de ciencia y tecnología del gas. Medellín 1994.

CENGEL, Yunus. Termodinamica tomo I y II. McGraw-Hill México 1996.

CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor. McGraw-Hill México 2004.

COLÓN, Jhony. Diseño y Construcción de un Generador de Vapor para Secado y Planchado de Ropa. 2000.

FARR, James R; JAWAD, Maan. H. Guide Book For The Design Of ASME Section IV y VIII Pressure Vessels. ASME Press. 1998.

HERNANDEZ, David y MONCADA, Iván. Diseño, Construcción de un Sistema Generador de Vapor aplicado Baños Turcos y Sauna. 1996.

KERN, Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor, 26 edición, Compañía Editorial Continental México 1995.

MORENO, Jorge y ARIZA, Villamil. Mejoramiento Operativo de la Caldera del Laboratorio de Plantas Térmicas. 2002.

WARK, Keneth. Termodinamica. McGraw-Hill. 1993.

WHITMAN, William; JOHNSON, William. Tecnología de Refrigeración y Aire Acondicionado. Barcelona, Marcombo, 1997.

**ANEXO A . PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COMBUSTIBLES
GASEOSOS**

No.	Gas	Constituents – % by Volume									Specific Gravity	Density, Lb per Cu Ft	Specific Volume Cu Ft/Lb
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂			
1	Acetylene	–	–	–	(100% C ₂ H ₂)	–	–	–	–	–	0.91	.07	14.4
2	Blast Furnace Gas	–	–	–	–	27.5	1	11.5	–	60	1.02	.078	12.8
3	Butane (natural gas)	–	–	7	93	–	–	–	–	–	1.95	.149	6.71
4	Butylene (Butene)	–	–	–	(100% C ₄ H ₆)	–	–	–	–	–	1.94	.148	6.74
5	Carbon Monoxide	–	–	–	–	100	–	–	–	–	0.97	.074	13.5
6	Carburetted Water Gas	10.2	(6.1% C ₂ H ₄ , 2.8% C ₆ H ₆)	–	–	34	40.5	3	0.5	2.9	0.63	.048	20.8
7	Coke Oven Gas	32.1	(3.5% C ₂ H ₄ , 0.5% C ₆ H ₆)	–	–	6.3	46.5	2.2	0.8	8.1	0.44	.034	29.7
8	Digester (Sewage) Gas	67	–	–	(8% H ₂ O)	–	–	25	–	–	0.80	.062	16.3
9	Ethane	–	100	–	–	–	–	–	–	–	1.05	.080	12.5
10	Hydrogen	–	–	–	–	–	100	–	–	–	0.07	.0054	186.9
11	Methane	100	–	–	–	–	–	–	–	–	0.55	.042	23.8
12	Natural (Birmingham, AL)	90	5	–	–	–	–	–	–	5	0.60	.046	21.8
13	Natural (Pittsburgh, PA)	83.4	15.8	–	–	–	–	–	–	0.8	0.61	.047	21.4
14	Natural (Los Angeles, CA)	77.5	16.0	–	–	–	–	6.5	–	–	0.70	.054	18.7
15	Natural (Kansas City, MO)	84.1	6.7	–	–	–	–	0.8	–	8.4	0.63	.048	20.8
16	Natural (Groningen, Netherlands)	81.3	2.9	0.4	0.1	–	–	0.9	–	14.4	0.64	.048	20.7
17	Natural (Midlands Grid, U.K.)	91.8	3.5	0.8	0.3	–	–	0.4	–	2.8	0.61	.046	21.8
18	Producer (Wellman-Galusha)	2.3	–	–	–	25	14.5	4.7	–	52.7	0.84	.065	15.4
19	Propane (natural gas)	–	–	100	–	–	–	–	–	–	1.52	.116	8.61
20	Propylene (Propene)	–	–	–	(100% C ₃ H ₆)	–	–	–	–	–	1.45	.111	9.02
21	Sasol (South Africa)	26	–	–	–	22	48	–	0.5	1	0.42	.032	31.3
22	Water Gas (bituminous)	4.6	(0.4% C ₂ H ₄ , 0.3% C ₆ H ₆)	–	–	28.2	32.5	5.5	0.9	27.6	0.71	.054	18.7

Air/Gas Ratio, Flammability Limits, Ignition Temperature & Flame Velocity							
No.	Gas	Stoichiometric Air/Gas Ratio		Limits of Flammability % Gas in Air/Gas Mixture		Minimum Ignition Temperature in Air, °F	Maximum Flame Velocity in Air, Ft/Sec*
		Cu Ft Air/ Cu Ft Gas	Lb Air/ Lb Gas	Lean	Rich		
1	Acetylene	11.91	13.26	2.5	80	581	9.4
2	Blast Furnace Gas	0.68	0.67	45	72	–	–
3	Butane (natural gas)	30.47	15.63	1.86	8.41	826	2.8
4	Butylene (Butene)	28.59	14.77	1.7	9	829	3.2
5	Carbon Monoxide	2.38	2.46	12	74	1128	2.0
6	Carburetted Water Gas	4.60	7.36	4.2	42.9	–	–
7	Coke Oven Gas	4.99	11.27	4.5	31.5	–	–
8	Digester (Sewage) Gas	6.41	7.97	8	17	–	–
9	Ethane	16.68	15.98	3.15	12.8	882	2.8
10	Hydrogen	2.38	33.79	4	74.2	1065	16.0
11	Methane	9.53	17.23	5	15	1170	2.2
12	Natural (Birmingham, AL)	9.41	15.68	7.03	15.77	–	–
13	Natural (Pittsburgh, PA)	10.58	17.31	4.6	14.7	–	–
14	Natural (Los Angeles, CA)	10.05	14.26	4.9	15.6	–	–
15	Natural (Kansas City, MO)	9.13	14.59	5.4	16.3	–	–
16	Natural (Groningen, Netherlands)	8.41	13.45	6.1	15	1238	1.18
17	Natural (Midlands Grid, U.K.)	9.8	16.13	5	15	1300	0.98
18	Producer (Wellman-Galusha)	1.30	1.56	16.4	69.4	–	–
19	Propane (natural gas)	23.82	15.73	2.37	9.50	898	2.7
20	Propylene (Propene)	21.44	14.77	2	11.1	856	3.3
21	Sasol (South Africa)	4.13	9.84	5.3	37.4	–	–
22	Water Gas (bituminous)	2.01	2.86	8.9	61	–	–

*Uniform flame speed in a 1" diameter tube. Flame speeds increase in larger diameter tubes.

TABLA A-27E

Entalpía de combustión y entalpía de vaporización a 77°F, 1 atm
(El agua aparece como un líquido en los productos de combustión.)

Sustancia	Fórmula	$\Delta \bar{h}_c^\circ = -\text{HHV}$ Btu/lbmol	\bar{h}_R Btu/lbmol
Hidrógeno	H ₂ (g)	-122,970	
Carbón	C(s)	-169,290	
Monóxido de carbono	CO(g)	-121,750	
Metano	CH ₄ (g)	-383,040	
Acetileno	C ₂ H ₂ (g)	-559,120	
Etileno	C ₂ H ₄ (g)	-607,010	
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-671,080	
Propileno	C ₃ H ₆ (g)	-885,580	
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-955,070	6,480
n-Butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-1,237,800	9,060
n-Pentano	C ₅ H ₁₂ (g)	-1,521,300	11,360
n-Hexano	C ₆ H ₁₄ (g)	-1,804,600	13,563
n-Heptano	C ₇ H ₁₆ (g)	-2,088,000	15,713
n-Octano	C ₈ H ₁₈ (g)	-2,371,400	17,835
Benceno	C ₆ H ₆ (g)	-1,420,300	14,552
Tolueno	C ₇ H ₈ (g)	-1,698,400	17,176
Alcohol metílico	CH ₃ OH(g)	-328,700	16,092
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(g)	-606,280	18,216

Fuente: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1977, p. 879 tabla A-23.

TABLA A-2E

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes
a) A 80°F

Gas	Fórmula	Constante de gas R Btu/(lbm · R)	C _{p0} Btu/(lbm · R)	C _{v0} Btu/(lbm · R)	k
Aire	—	0.068 55	0.240	0.171	1.400
Argón	Ar	0.049 71	0.1253	0.0756	1.667
Butano	C ₄ H ₁₀	0.034 24	0.415	0.381	1.09
Dióxido de carbono	CO ₂	0.045 13	0.203	0.158	1.285
Monóxido de carbono	CO	0.070 90	0.249	0.178	1.399
Etano	C ₂ H ₆	0.066 16	0.427	0.361	1.183
Etileno	C ₂ H ₄	0.070 79	0.411	0.340	1.208
Helio	He	0.496 1	1.25	0.753	1.667
Hidrógeno	H ₂	0.985 1	3.43	2.44	1.404
Metano	CH ₄	0.123 8	0.532	0.403	1.32
Neón	Ne	0.098 40	0.246	0.1477	1.667
Nitrógeno	N ₂	0.070 90	0.248	0.177	1.400
Octano	C ₈ H ₁₈	0.017 42	0.409	0.392	1.044
Oxígeno	O ₂	0.062 06	0.219	0.157	1.395
Propano	C ₃ H ₈	0.045 04	0.407	0.362	1.124
Vapor	H ₂ O	0.110 2	0.445	0.335	1.329

Fuente: Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, versión inglés/SI, 3a. ed., Wiley, Nueva York, 1986, p. 687, tabla A.8E.

TABLA A-1E
Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar lbm/lbmol	Constante de gas, <i>R</i>		Temp. <i>R</i>	Presión psia	Volumen pie ³ /lbmol
			Btu/(lbm · R)*	psia · pie ³ /(lbm · R)*			
Amoniaco	NH ₃	17.03	0.1166	0.6301	729.8	1636	1.16
Argón	Ar	39.948	0.049 71	0.2686	272	705	1.20
Bromo	Br ₂	159.808	0.012 43	0.067 14	1052	1500	2.17
Dióxido de carbono	CO ₂	44.01	0.045 13	0.2438	547.5	1071	1.51
Monóxido de carbono	CO	28.011	0.070 90	0.3831	240	507	1.49
Cloro	Cl ₂	70.906	0.028 01	0.1517	751	1120	1.99
Deuterio (normal)	D ₂	4.00	0.4965	2.6825	69.1	241	—
Helio	He	4.003	0.4961	2.6805	9.5	33.2	0.926
Hidrógeno (normal)	H ₂	2.016	0.9851	5.3224	59.9	188.1	1.04
Kriptón	Kr	83.80	0.023 70	0.1280	376.9	798	1.48
Neón	Ne	20.183	0.098 40	0.5316	80.1	395	0.668
Nitrógeno	N ₂	28.013	0.070 90	0.3830	227.1	492	1.44
Oxido nitroso	N ₂ O	44.013	0.045 12	0.2438	557.4	1054	1.54
Oxígeno	O ₂	31.999	0.062 06	0.3353	278.6	736	1.25
Dióxido de azufre	SO ₂	64.063	0.031 00	1.1675	775.2	1143	1.95
Agua	H ₂ O	18.015	0.1102	0.5956	1165.3	3204	0.90
Xenón	Xe	131.30	0.015 13	0.081 72	521.55	852	1.90
Benceno	C ₆ H ₆	78.115	0.025 42	0.1374	1012	714	4.17
<i>n</i> -Butano	C ₄ H ₁₀	58.124	0.034 17	0.1846	765.2	551	4.08
Tetracloruro de carbón	CCl ₄	153.82	0.012 91	0.069 76	1001.5	661	4.42
Cloroformo	CHCl ₃	119.38	0.016 64	0.089 88	965.8	794	3.85
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl ₂ F ₂ (R-12)	120.91	0.016 43	0.088 74	692.4	582	3.49
Diclorofluorometano	CHCl ₂ F	102.92	0.019 30	0.1043	813.0	749	3.16
Etano	C ₂ H ₆	30.020	0.066 16	0.3574	549.8	708	2.37
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.043 11	0.2329	929.0	926	2.68
Etileno	C ₂ H ₄	28.054	0.070 79	0.3825	508.3	742	1.99
<i>n</i> -Hexano	C ₆ H ₁₄	86.178	0.023 05	0.1245	914.2	439	5.89
Metano	CH ₄	16.043	0.1238	0.6688	343.9	673	1.59
Alcohol metílico	CH ₃ OH	32.042	0.061 98	0.3349	923.7	1154	1.89
Cloruro metílico	CH ₃ Cl	50.488	0.039 34	0.2125	749.3	968	2.29
Propano	C ₃ H ₈	44.097	0.045 04	0.2433	665.9	617	3.20
Propeno	C ₃ H ₆	42.081	0.047 19	0.2550	656.9	670	2.90
Propino	C ₃ H ₄	40.065	0.049 57	0.2678	722	776	—
Triclorofluorometano	CCl ₃ F	137.37	0.014 46	0.078 11	848.1	635	3.97
Aire	—	28.97	0.068 55	0.3704	—	—	—

*Calculada de $R = R_u/M$, donde $R_u = 1.986 \text{ Btu}/(\text{lbmol} \cdot \text{R}) = 10.73 \text{ psia} \cdot \text{pie}^3/(\text{lbmol} \cdot \text{R})$ y M es la masa molar.

Fuente: Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, versión inglés/SI, 3a. ed., Wiley, Nueva York, 1986, p. 684, tabla A.6E. Publicada originalmente en K. A. Kobe y R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review*, vol. 52, pp. 117-236, 1953.

ANEXO B . PROPIEDADES TERMODINÁMICAS AGUA

TABLA A-4E

Agua saturada - tabla de temperaturas

Temp. °F T	Pres. sat. P _{sat}	Volumen específico pie ³ /lbm		Energía interna Btu/lbm			Entalpía Btu/lbm			Entropía Btu/(lbm · R)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap. u _{fg}	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap. h _{fg}	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap. s _{fg}	Vapor sat.
		v _f	v _g	u _f	u _g	u _g	h _f	h _g	h _g	s _f	s _g	s _g
32.018	0.08866	0.016022	3302	0.00	1021.2	1021.2	0.01	1075.4	1075.4	0.00000	2.1869	2.1869
35	0.09932	0.016021	2948	2.99	1019.2	1022.2	3.00	1073.7	1076.7	0.00607	2.1704	2.1764
40	0.12166	0.016020	2445	8.02	1015.8	1023.9	8.02	1070.9	1078.9	0.01617	2.1430	2.1592
45	0.14748	0.016021	2037	13.04	1012.5	1025.5	13.04	1068.1	1081.1	0.02618	2.1162	2.1423
50	0.17600	0.016024	1704.2	18.06	1009.1	1027.2	18.06	1065.2	1083.3	0.03607	2.0899	2.1259
60	0.25603	0.016026	1206.9	28.08	1002.4	1030.4	28.08	1059.6	1087.7	0.05555	2.0388	2.0943
70	0.36332	0.016051	867.7	38.09	996.6	1033.7	38.09	1054.0	1092.0	0.07463	1.9896	2.0642
80	0.50773	0.016073	632.8	48.08	989.9	1037.0	48.09	1048.3	1096.4	0.09332	1.9423	2.0356
90	0.6988	0.016099	467.7	58.07	982.2	1040.2	58.07	1042.7	1100.7	0.11165	1.8966	2.0083
100	0.9600	0.016130	350.0	68.04	975.4	1043.5	68.05	1037.0	1105.0	0.12963	1.8526	1.9822
110	1.2763	0.016166	265.1	78.02	968.7	1046.7	78.02	1031.3	1109.3	0.14730	1.8101	1.9574
120	1.6945	0.016206	203.0	87.99	961.9	1049.9	88.00	1025.5	1113.5	0.16465	1.7690	1.9336
130	2.225	0.016247	157.17	97.97	955.1	1053.0	97.98	1019.8	1117.8	0.18172	1.7292	1.9109
140	2.882	0.016290	122.89	107.95	948.2	1056.2	107.96	1014.0	1121.9	0.19851	1.6907	1.8892
150	3.722	0.016343	96.99	117.95	941.3	1059.3	117.96	1008.1	1126.1	0.21503	1.6533	1.8684
160	4.745	0.016396	77.23	127.94	934.4	1062.3	127.96	1002.2	1130.1	0.23130	1.6171	1.8484
170	5.996	0.016450	62.02	137.95	927.4	1065.4	137.97	996.2	1134.2	0.24732	1.5819	1.8293
180	7.515	0.016509	50.20	147.97	920.4	1068.3	147.99	990.2	1138.2	0.26311	1.5478	1.8109
190	9.343	0.016570	40.95	158.00	913.3	1071.3	158.03	984.1	1142.1	0.27866	1.5146	1.7932
200	11.529	0.016634	33.63	168.04	906.2	1074.2	168.07	977.9	1145.9	0.29400	1.4822	1.7762
210	14.125	0.016702	27.82	178.10	898.9	1077.0	178.14	971.6	1149.7	0.30913	1.4508	1.7599
212	14.698	0.016716	26.80	180.11	897.5	1077.6	180.16	970.3	1150.5	0.31213	1.4446	1.7567
220	17.188	0.016772	23.15	188.17	891.7	1079.8	188.22	965.3	1153.5	0.32406	1.4201	1.7441
230	20.78	0.016845	19.386	198.26	884.3	1082.6	198.32	958.8	1157.1	0.33880	1.3901	1.7289
240	24.97	0.016927	16.327	208.36	876.9	1085.3	208.44	952.3	1160.7	0.35335	1.3609	1.7143
250	29.82	0.017001	13.826	218.49	869.4	1087.9	218.59	945.6	1164.2	0.36772	1.3324	1.7001
260	35.42	0.017084	11.768	228.64	861.8	1090.5	228.76	938.8	1167.6	0.38193	1.3044	1.6864
270	41.85	0.017170	10.066	238.82	854.1	1093.0	238.95	932.0	1170.9	0.39597	1.2771	1.6731
280	49.18	0.017259	8.650	249.02	846.3	1095.4	249.18	924.9	1174.1	0.40986	1.2504	1.6602
290	57.53	0.017352	7.467	259.25	838.5	1097.7	259.44	917.8	1177.2	0.42360	1.2241	1.6477
300	66.98	0.017448	6.472	269.52	830.5	1100.0	269.73	910.4	1180.2	0.43720	1.1984	1.6356
310	77.64	0.017548	5.632	279.81	822.3	1102.1	280.06	903.0	1183.0	0.45067	1.1731	1.6238
320	89.60	0.017652	4.919	290.14	814.1	1104.2	290.43	895.3	1185.8	0.46400	1.1483	1.6123
330	103.00	0.017760	4.312	300.51	805.7	1106.2	300.83	887.5	1188.4	0.47722	1.1238	1.6010
340	117.93	0.017872	3.792	310.91	797.1	1108.0	311.30	879.5	1190.8	0.49031	1.0997	1.5901
350	134.53	0.017988	3.346	321.35	788.4	1109.8	321.80	871.3	1193.1	0.50329	1.0760	1.5793
360	152.02	0.018108	2.961	331.84	779.6	1111.4	332.35	862.9	1195.2	0.51617	1.0526	1.5688
370	173.23	0.018233	2.626	342.37	770.6	1112.9	342.96	854.2	1197.2	0.52894	1.0296	1.5585
380	195.60	0.018363	2.339	352.95	761.4	1114.3	353.62	845.4	1199.0	0.54163	1.0067	1.5483
390	220.2	0.018496	2.087	363.58	752.0	1115.6	364.34	836.2	1200.6	0.55422	0.9841	1.5383
400	247.1	0.018638	1.8661	374.27	742.4	1116.6	375.12	826.8	1202.0	0.56672	0.9617	1.5284
410	276.5	0.018784	1.6726	385.01	732.6	1117.6	385.97	817.2	1203.1	0.57916	0.9396	1.5187
420	308.5	0.018936	1.5024	395.81	722.5	1118.3	396.89	807.2	1204.1	0.59152	0.9176	1.5091
430	343.3	0.019094	1.3521	406.68	712.2	1118.9	407.89	796.9	1204.8	0.60381	0.8957	1.4995
440	381.2	0.019260	1.2192	417.62	701.7	1119.3	418.88	786.3	1205.3	0.61605	0.8740	1.4900
450	422.1	0.019433	1.1011	428.6	690.9	1119.5	430.2	775.4	1205.6	0.6282	0.8523	1.4806
460	466.3	0.019614	0.9961	439.7	679.8	1119.6	441.4	764.1	1205.5	0.6404	0.8308	1.4712
470	514.1	0.019803	0.9025	450.9	668.4	1119.4	452.8	752.4	1205.2	0.6525	0.8093	1.4618
480	565.5	0.020002	0.8187	462.2	656.7	1118.9	464.3	740.3	1204.6	0.6646	0.7878	1.4524
490	620.7	0.020211	0.7436	473.6	644.7	1118.3	475.9	727.8	1203.7	0.6767	0.7663	1.4430

Tensión superficial de la interfase
líquido-vapor para el agua

T, °C	σ, N/m*
0	0.0757
20	0.0727
40	0.0696
60	0.0662
80	0.0627
100	0.0589
120	0.0550
140	0.0509
160	0.0466
180	0.0422
200	0.0377
220	0.0331
240	0.0284
260	0.0237
280	0.0190
300	0.0144
320	0.0099
340	0.0056
360	0.0019
374	0.0

ANEXO C . TABLAS PARA CÁLCULO DE EMISIVIDADES

TABLA 10-3Valores del coeficiente C_{sf} y de n para varias combinaciones fluido-superficie

Combinación fluido-superficie de calentamiento	C_{sf}	n
Agua-cobre (pulido)	0.0130	1.0
Agua-cobre (rayado)	0.0068	1.0
Agua-acero inoxidable (pulido mecánicamente)	0.0130	1.0
Agua-acero inoxidable (rectificado y pulido)	0.0060	1.0
Agua-acero inoxidable (recubierto de Teflon picado)	0.0058	1.0
Agua-acero inoxidable (corroído químicamente)	0.0130	1.0
Agua-latón	0.0060	1.0
Agua-níquel	0.0060	1.0
Agua-platino	0.0130	1.0
<i>n</i> -Pentano-cobre (pulido)	0.0154	1.7
<i>n</i> -Pentano-cromo	0.0150	1.7
Benceno-cromo	0.1010	1.7
Alcohol etílico-cromo	0.0027	1.7
Tetracloruro de carbono-cobre	0.0130	1.7
Isopropanol-cobre	0.0025	1.7

TABLA 12-4Longitud media del haz L para varias formas del volumen de gas

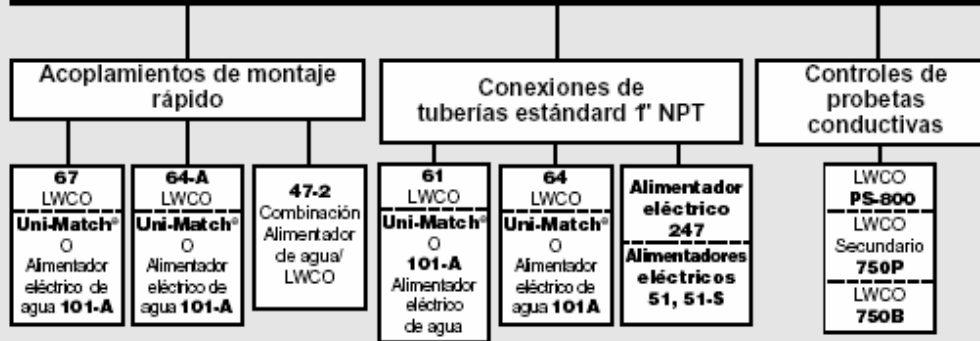
Configuración geométrica del volumen de gas	L
Hemisferio de radio R irradiando hacia el centro de su base	R
Esfera de diámetro D irradiando hacia su superficie	$0.65D$
Cilindro circular infinito de diámetro D irradiando hacia la superficie curva	$0.95D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia su base	$0.65D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.90D$
Cilindro semicircular infinito de radio R irradiando hacia el centro de su base	$1.26R$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia toda la superficie	$0.60D$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.71D$
Losa infinita de espesor D irradiando hacia cualquiera de los dos planos que la limitan	$1.80D$
Cubo de longitud L por lado irradiando hacia cualquiera de las caras	$0.66L$
Forma arbitraria de volumen V y área superficial A_s irradiando hacia la superficie	$3.6V/A_s$

TABLA A-18
Emisividades de las superficies
a) Metales

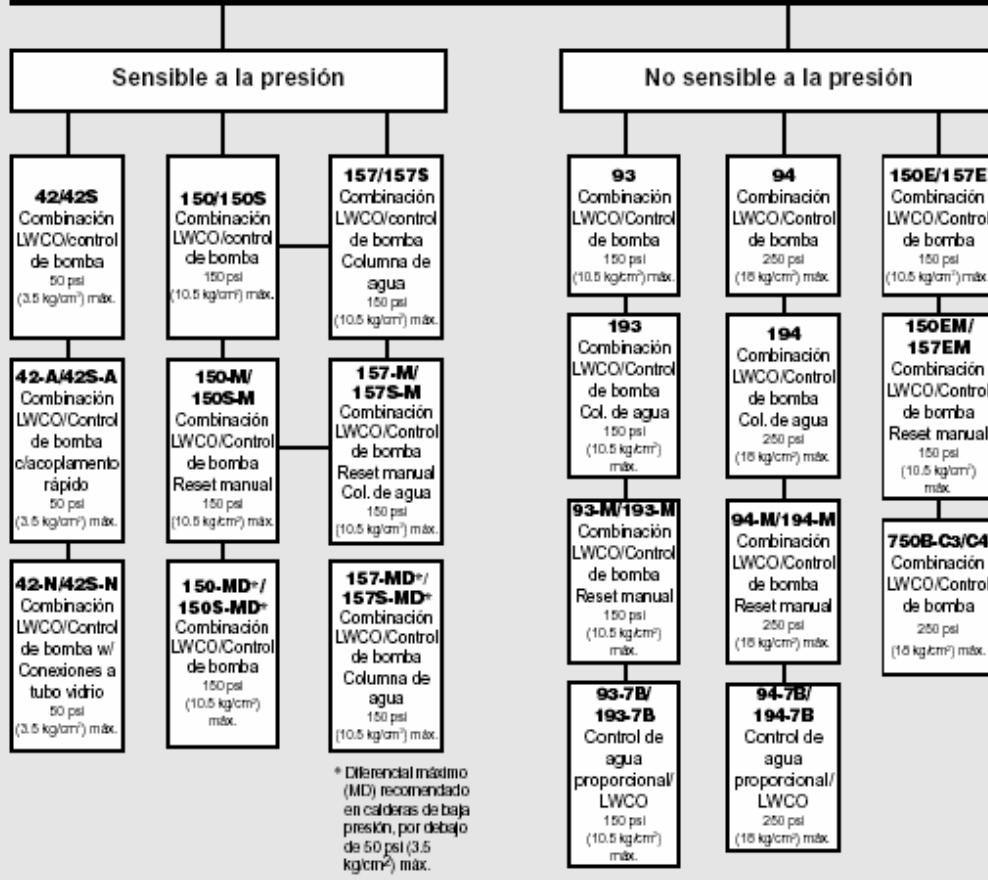
Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Aluminio			Magnesio pulido	300-500	0.07-0.13
Pulido	300-900	0.04-0.06	Mercurio	300-400	0.09-0.12
Lámina comercial	400	0.09	Molibdeno		
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33	Pulido	300-2 000	0.05-0.21
Anodizado	300	0.8	Oxidado	600-800	0.80-0.82
Bismuto brillante	350	0.34	Níquel		
Latón			Pulido	500-1 200	0.07-0.17
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04	Oxidado	450-1 000	0.37-0.57
Pulido	350	0.09	Platino pulido	500-1 500	0.06-0.18
Placa mate	300-600	0.22	Plata pulida	300-1 000	0.02-0.07
Oxidado	450-800	0.6	Acero inoxidable		
Cromo pulido	300-1 400	0.08-0.40	Pulido	300-1 000	0.17-0.30
Cobre			Ligeramente oxidado	600-1 000	0.30-0.40
Intensamente pulido	300	0.02	Intensamente oxidado	600-1 000	0.70-0.80
Pulido	300-500	0.04-0.05	Acero		
Lámina comercial	300	0.15	Lámina pulida	300-500	0.08-0.14
Oxidado	600-1 000	0.5-0.8	Lámina comercial	500-1 200	0.20-0.32
Oxidado en negro	300	0.78	Intensamente oxidado	300	0.81
Oro			Estaño pulido	300	0.05
Intensamente pulido	300-1 000	0.03-0.06	Tungsteno		
Hoja brillante	300	0.07	Pulido	300-2 500	0.03-0.29
Hierro			Filamento	3500	0.39
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07	Zinc		
Hierro fundido	300	0.44	Pulido	300-800	0.02-0.05
Hierro forjado	300-500	0.28	Oxidado	300	0.25
Aherrumbrado	300	0.61			
Oxidado	500-900	0.64-0.78			
Plomo					
Pulido	300-500	0.06-0.08			
No oxidado, áspero	300	0.43			
Oxidado	300	0.63			

**ANEXO D. DIAGRAMA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE NIVEL
DE AGUA**

**CALDERAS DE BAJA PRESIÓN,
15 psi (1 kg/cm²) M_{ax}.**



**CALDERAS DE BAJA Y ALTA PRESIÓN,
RETORNO A BOMBA (Necesitan control de bomba)**



ANEXO E. CATALOGO MOTOR DEL QUEMADOR



SPLIT PHASE AND CAPACITOR START

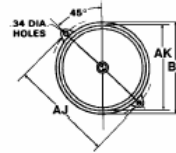
Oil Burner

**Totally Enclosed
When Mounted**

CAUTION: BEFORE SELECTING A MOTOR refer to safety instructions and Motor Application Guide sections for proper choice of overtemperature protection and other important considerations.

Features

- 40°C ambient
- 20" leads, located at 3 o'clock viewed from end opposite shaft
- 1.0 service factor
- Reversible rotation, except as noted
- Manual reset thermal overload protector
- 56N frame has 2 holes and screws for mounting outlet box
- Class A insulation
- 56N flange is enclosed, 48M and 48N flange are ventilated
- Sleeve bearings have all angle thrust system



NEMA Frame	Bolt Circle A.J	Rabbit Dia. AK	Outside Dia. BD
48M	6.75"	5.500"	6.25" max
48N, 56N	7.25"	6.375"	7.00" max

OEM Direct Replacements

Catalog Number	List Price	HP	RPM	Volts	Brgs	NEMA Frame	Amps	Shaft Length	Shaft Dia.	Protector	Total Length	Ship Wgt.	Notes
Beckett, Carlin, Ducane, Wayne Home													
5866	\$69	1/7	3450	115	Slv	48M	2.3	2.0	.500	Man	7.2	11	1
2808	\$101	1/5	3450	115	Slv	48M	3.2	2.0	.500	Man	7.8	15	1
Lennox Furnace													
3251	\$101	1/6	1725	115	Slv	56N	3.4	2.0	.500	Man	7.9	14	2

Flange Mounted, Totally Enclosed, Non-Ventilated When Mounted, Without Base

Catalog Number	List Price	HP	RPM	Volts	Brgs	NEMA Frame	Amps	Shaft Length	Shaft Dia.	Protector	Total Length	Ship Wgt.	Notes
1981	\$95	1/8	3450	115	Slv	48M	2.4	2.0	.500	Man	7.1	12	
2097	\$88	1/8	3450	115	Slv	48N	2.4	2.0	.500	Man	7.1	11	
3196	\$76	1/8	1725	115	Slv	48N	2.4	2.0	.500	Man	7.6	14	3
3248	\$79	1/7	3450	115	Ball	48M	2.1	2.0	.500	Man	7.3	13	1,6
3247	\$75	1/7	3450	115	Ball	48M	2.3	2.0	.500	Man	7.2	12	1
3083	\$74	1/7	3450	115	Slv	48M	2.4	2.0	.500	Man	7.3	11	
3253	\$81	1/6	3450	115	Slv	48M	2.8	2.0	.500	Man	7.4	14	
3252	\$82	1/6	1725	115	Slv	48N	3.1	2.0	.500	Man	7.6	15	
2302	\$108	1/4	3450	115	Slv	48N	3.7	2.0	.500	Man	8.3	15	
3254	\$102	1/4	1725	115	Slv	48N	4.2	2.0	.500	Man	8.3	15	
2319	\$141	1/3	3450	115	Slv	48N	4.8	2.0	.500	Man	10.5	20	5
3268	\$145	1/3	3450	115/230	Slv	48N	4.8/2.4	2.0	.500	Man	9.2		
3580	\$162	1/3	1725	115	Slv	56N	5.0	2.3	.500	Man	10.5	25	4
3267	\$160	1/2	3450	115/230	Slv	48N	7.6/3.8	2.0	.500	Man	9.7	20	

Capacitor Start, Open Dripproof

Catalog Number	List Price	HP	RPM	Volts	Brgs	NEMA Frame	Amps	Shaft Length	Shaft Dia.	Protector	Total Length	Ship Wgt.	Notes
3269	\$165	1/3	3450	115/208-230	Ball	56C	6.4/3.2	2.0	.625	Man	10.4	16	
3272	\$176	1/2	3450	115/208-230	Ball	56C	8.0/4.0	2.0	.625	Man	10.4	18	
3270	\$193	3/4	3450	115/208-230	Ball	56C	10.5/5.25	2.0	.625	Man	11.0	21	
3271	\$210	1	3450	115/208-230	Ball	56C	12.0/6.0	2.0	.625	Man	11.4	24	

1. Non-reversible
 4. 5/8" shaft adapter and key packed with motor.
 ★ - Suggested Distributor Stock Item
2. Similar to 3250, except 4 holes in frame band for mounting transformer box.
 5. Class B insulation system
3. Removable face plate.
 6. PSC motor, capacitor included

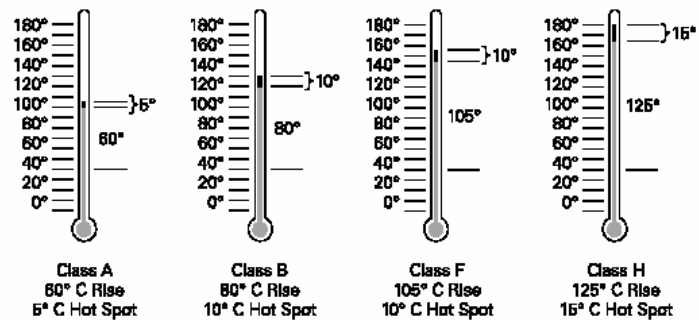
Discount Symbol: DS-3FMP

ANEXO F. NEMA, AISLAMIENTO MOTORES ELÉCTICOS

Insulation Class

The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) has established insulation classes to meet motor temperature requirements found in different operating environments. The four insulation classes are A, B, F, and H. Class F is commonly used. Class A is seldom used. Before a motor is started, its windings are at the temperature of the surrounding air. This is known as ambient temperature. NEMA has standardized on an ambient temperature of 40°C , or 104°F for all motor classes.

Temperature will rise in the motor as soon as it is started. The combination of ambient temperature and allowed temperature rise equals the maximum winding temperature in a motor. A motor with Class F insulation, for example, has a maximum temperature rise of 105°C . The maximum winding temperature is 145°C (40° ambient plus 105° rise). A margin is allowed to provide for a point at the center of the motor's windings where the temperature is higher. This is referred to as the motor's hot spot.



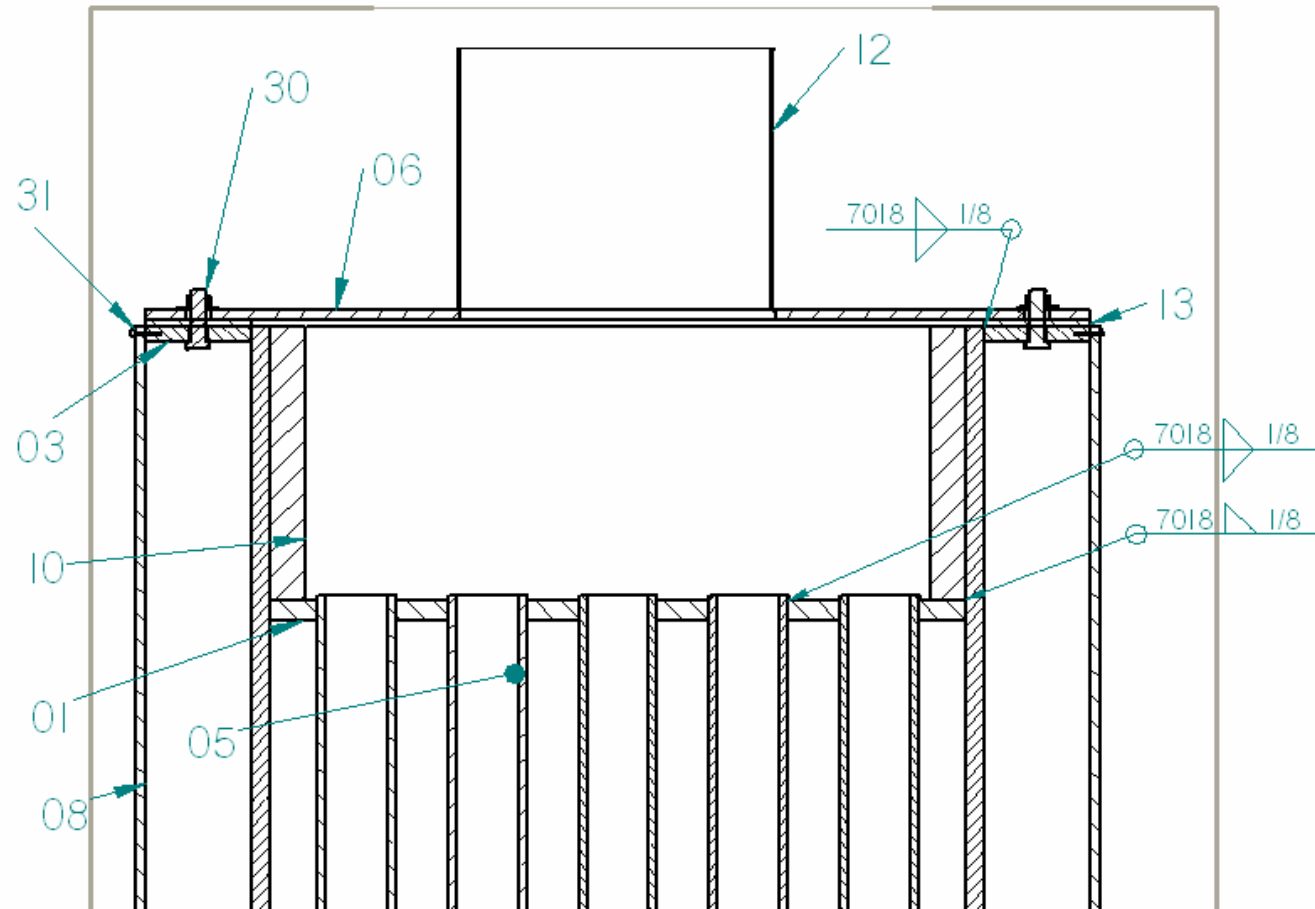
The operating temperature of a motor is important to efficient operation and long life. Operating a motor above the limits of the insulation class reduces the motor's life expectancy. A 10°C increase in the operating temperature can decrease the life expectancy of a motor as much as 50%.

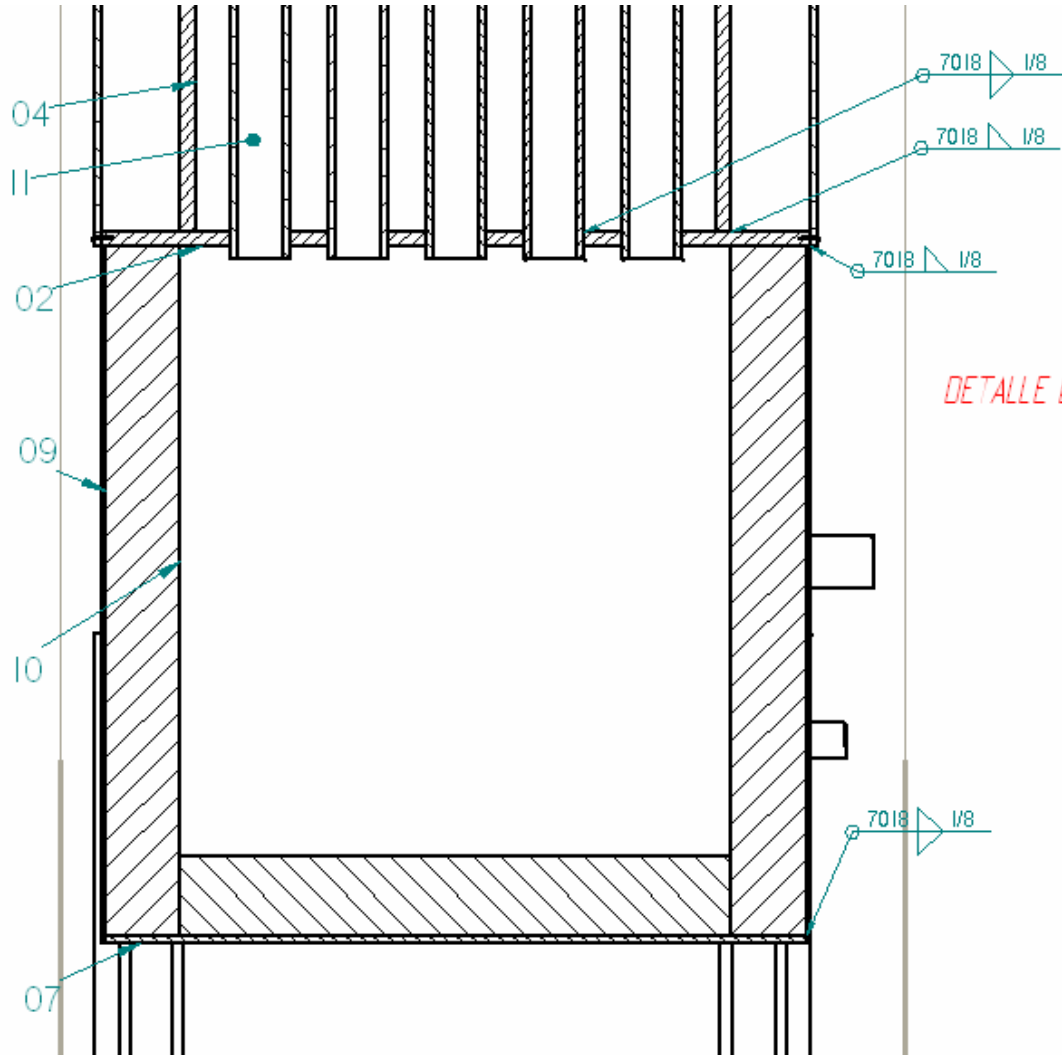
ANEXO G. PLANOS CORTE GENERADOR DE VAPOR

LISTA DE MATERIALES

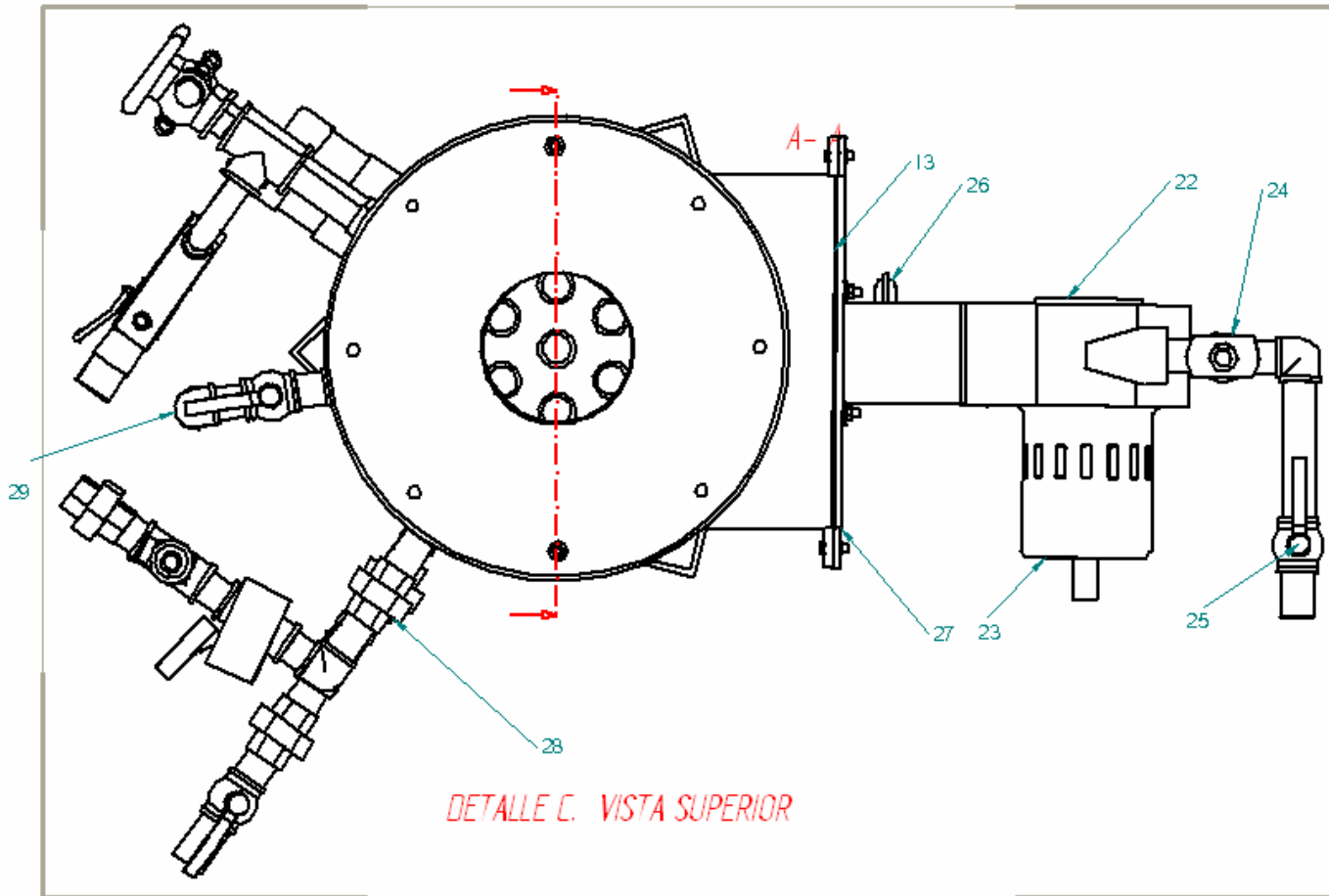
31	REMACHES	CALIBRE 3/16"	50	
30	TORNILLO HEXAGONAL	3/8"	12	ACERO
29	CODO PURGA	3/4" X 150 TUPY BRAZIL	1	ACERO GALVANIZADO
28	UNIÓN UNIVERSAL H/O	3/4" X 150 TUPY BRAZIL	4	ACERO GALVANIZADO
27	TAPA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	3/16" ESPESOR	1	ACERO
26	BUJÍA DE ENCENDIDO	SENSOR-IGNITOR	1	ALEACIÓN DE KANTAL
25	VÁLVULA BOLA	3/4" X 1000 WC	4	ACERO INOXIDABLE
24	VÁLVULA SOLENOIDE DE GAS	MARCA UNID 3/4" (P DE TRABAJO 1/2 PSI)	1	BRONCE
23	MOTOR DEL QUEMADOR	3450 RPM	1	
22	QUEMADOR	TIRO FORZADO CONEXIÓN GAS 3/4"	1	FUNDICIÓN DE ALUMINIO
21	CHEQUE TIPO CORTINA	3/4" R-W	1	BRONCE
20	MANÓMETRO DE CARATULA	CONEXIÓN BRONCE 1/4" (0-30 PSI)	1	
19	VÁLVULA SEGURIDAD	PRESIÓN DISPARO=15 PSI CONEXIÓN = 1/2"	1	BRONCE
18	PRESÓSTATO	(0-110 PSI) DANFOSS	1	
17	TAPÓN MACHO	ROSCA 4"	1	ACERO
16	VISOR DE NIVEL DE AGUA	CONEXIÓN DE 1/2"	1	VIDRIO
15	CONTROL DE NIVEL DE AGUA	MCDONNELL NO 67 CONEXIÓN 1/2"	1	
14	BASE SOPORTE	ANGULOS 4" X 5/16"	3	ACERO
13	EMPAQUE	3/16" ESPESOR	1	ASBESTO
12	CHIMENEA	DIAMETRO = 6"	1	LAMINA COLL ROLL
11	AISLANTE TÉRMICO	2" ESPESOR	1	FIBRA DE VIDRIO
10	REFRACTARIO	2" ESPESOR	2	CONCRAX 1300
9	CAMARA DE COMBUSTIÓN	3/16" ESPESOR	1	ACERO
8	CUBIERTA DEL CUERPO	CALIBRE 20	1	LÁMINA ALUMINIO
7	CUBIERTA INFERIOR	3/16" ESPESOR	1	ACERO
6	CUBIERTA SUPERIOR	3/16" ESPESOR	1	ACERO
5	TUBO DE HUMOS	DIAMETRO = 1,5 "	19	TUBERÍA PARA CALDERA
4	CUERPO DE LA CALDERA	3/8 " ESPESOR	1	ACERO AL CARBÓN
3	ANILLO	5/16 " ESPESOR	1	ACERO
2	PLACA PORTATUBOS INFERIOR	3/8 " ESPESOR	1	ACERO A-516
1	PLACA PORTATUBOS SUPERIOR	3/8 " ESPESOR	1	ACERO A-516
NO	HOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
<i>Dibujó</i>	15-04-04	Ronal Fonseca-Silvia Sierra		
<i>Revisó</i>	26-04-04	O. Gelves		
<i>Esc. 1:3</i>	Diseño, Construcción y Montaje de un Sistema de Generación de Vapor para el Baño Turco Localizado en la Sede Recreacional de Catay. Corte			Escuela de Ingeniería Mecánica
<i>Norma. ANSI mm</i>				Plano No 1 de 2

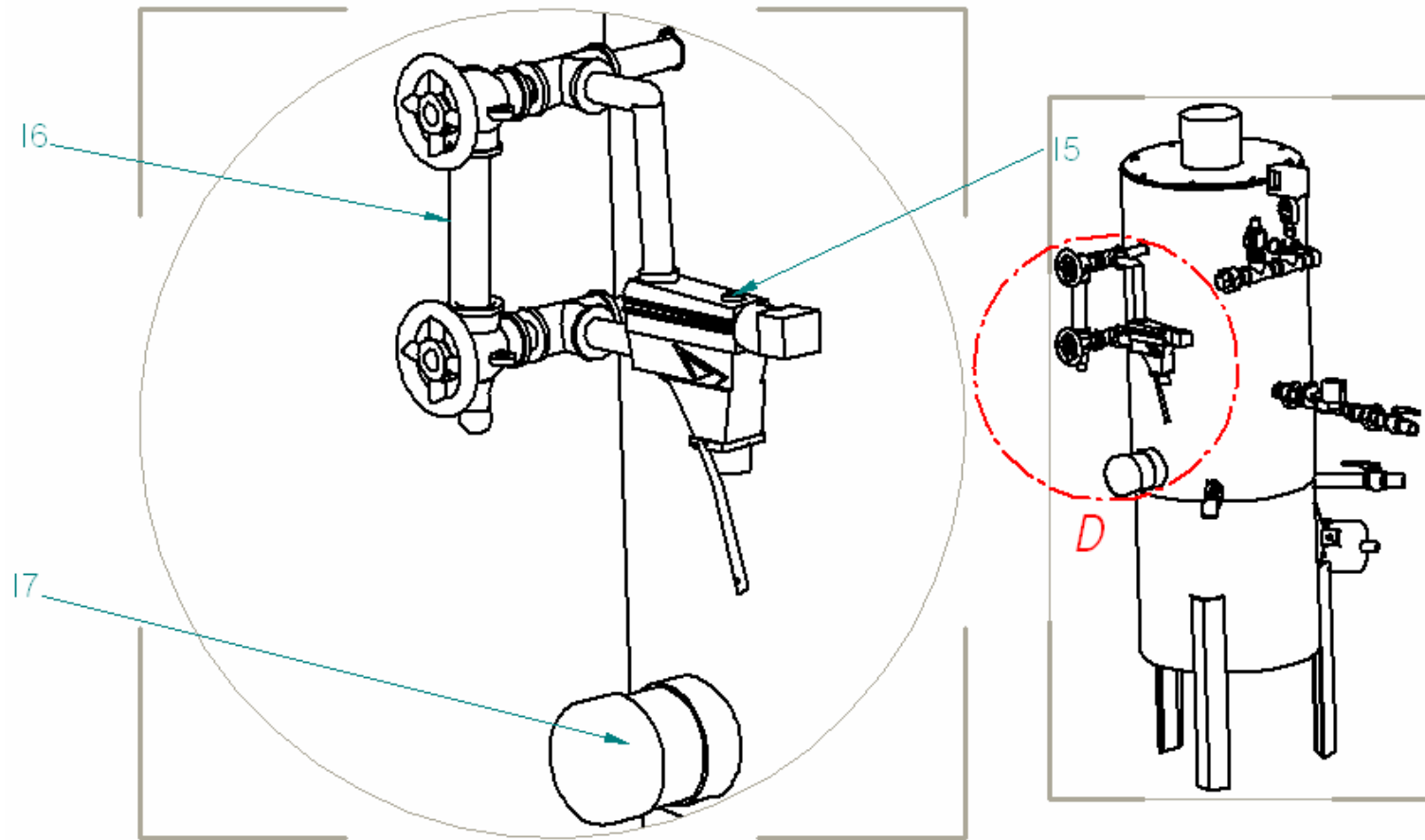
DETALLE A. CORTE A - A



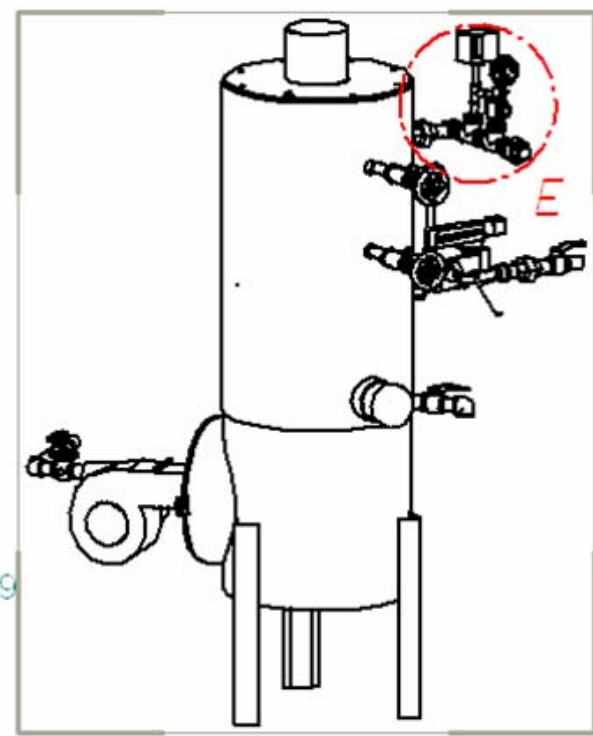
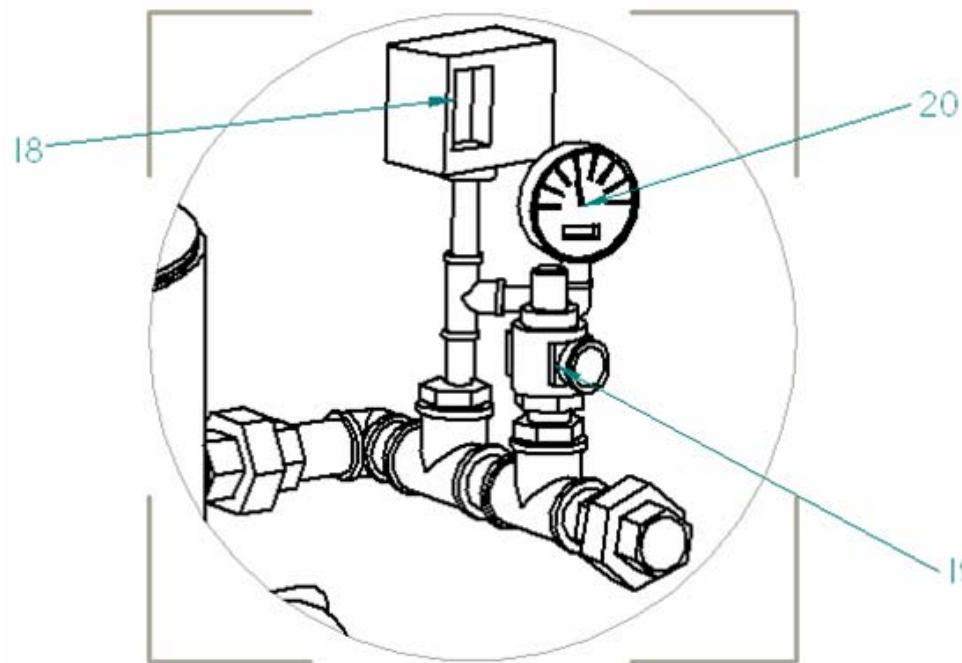


DETALLE B. CORTE A-A

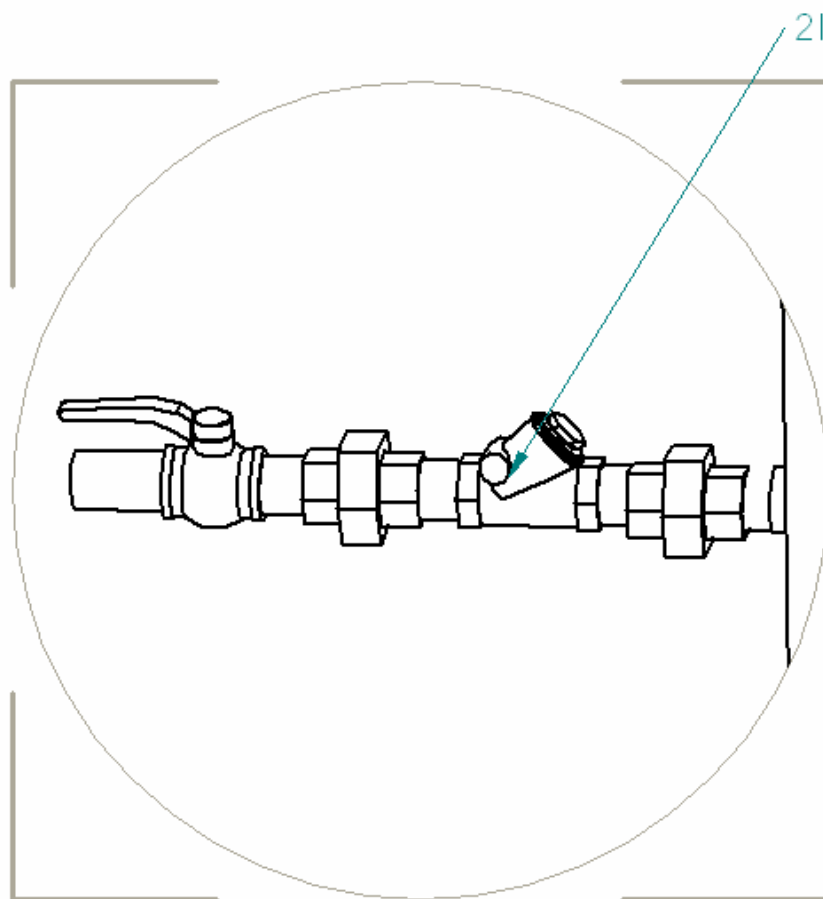




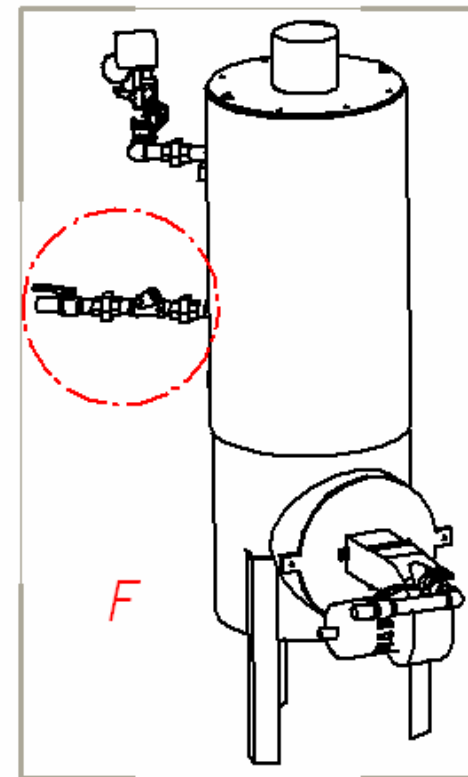
DETALLE D. CONTROL DE NIVEL MCDONNELL

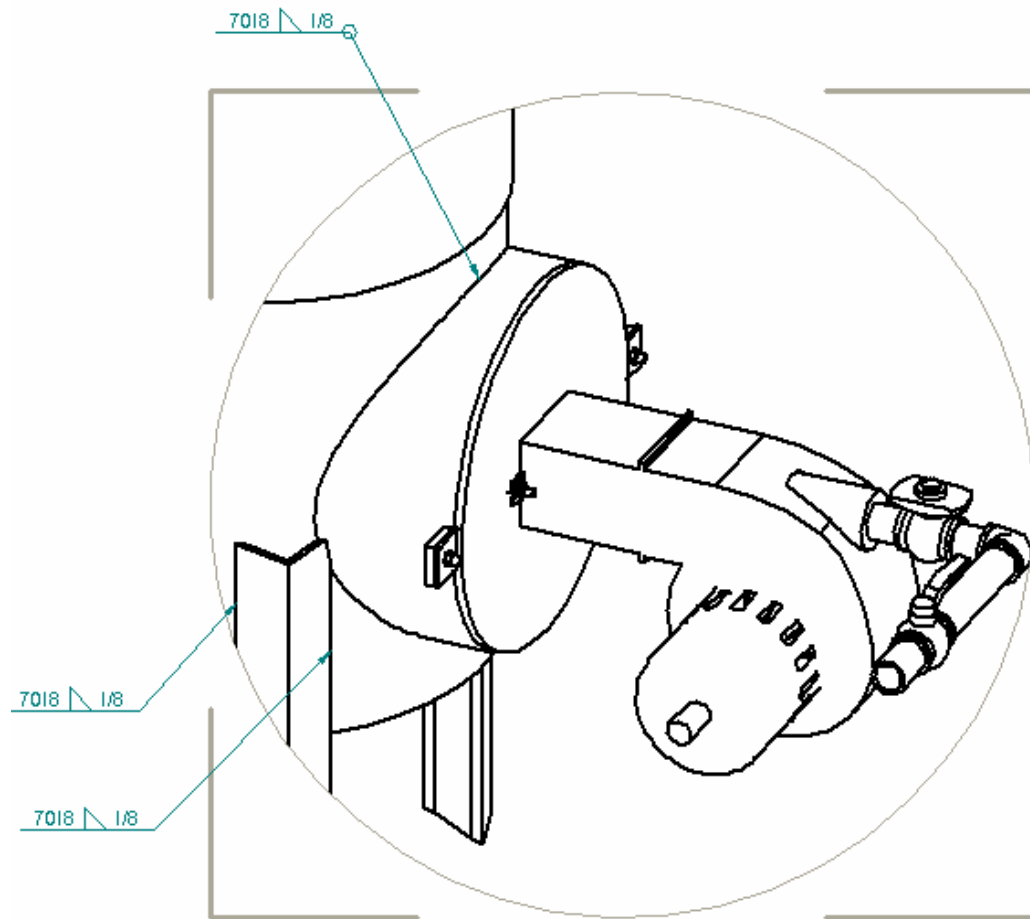


DETALLE E. SALIDA DE VAPOR

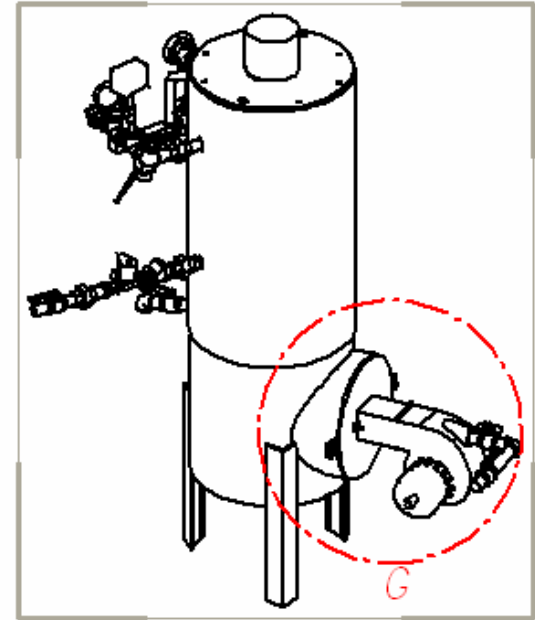


DETALLE F. ENTRADA AGUA

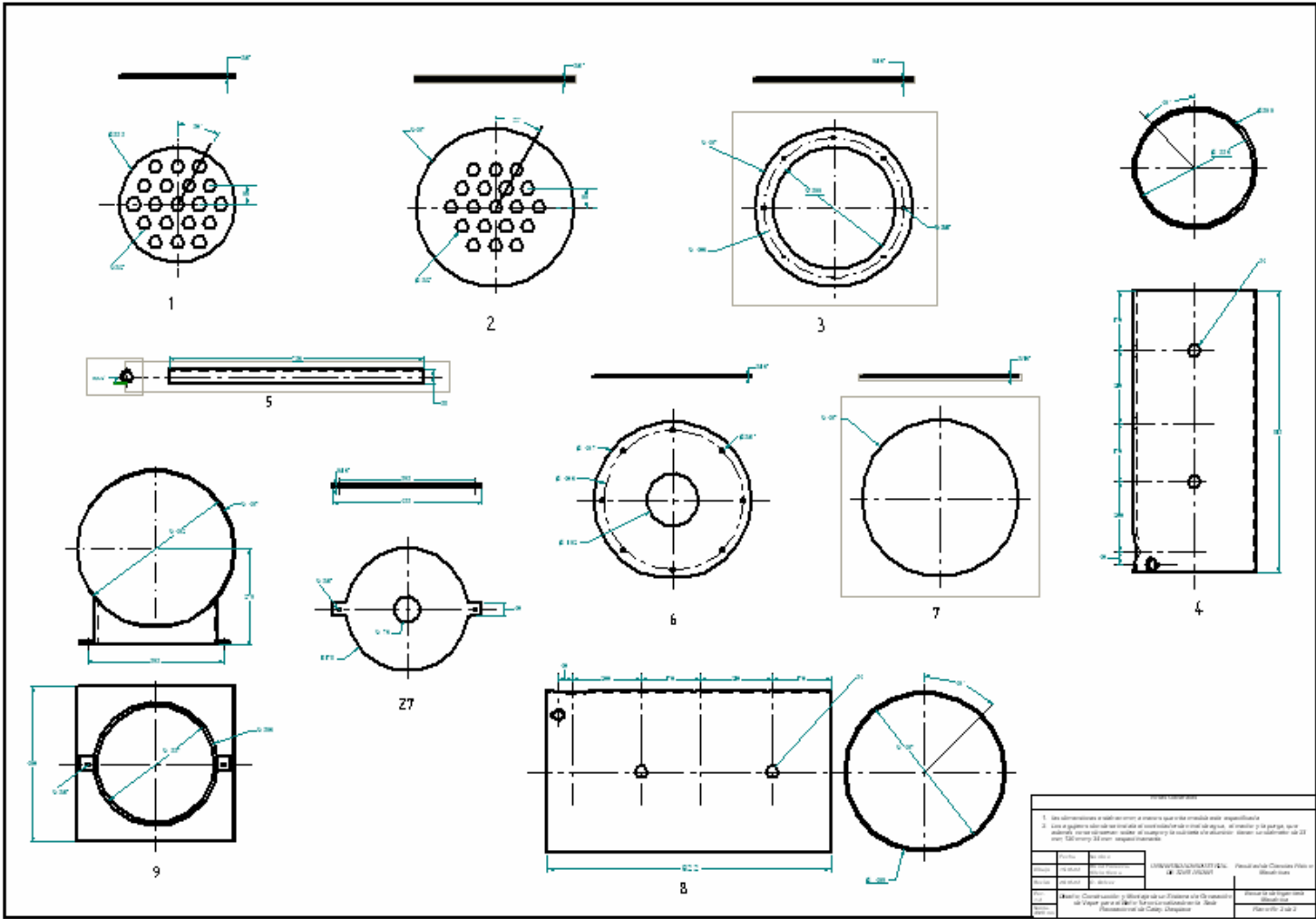




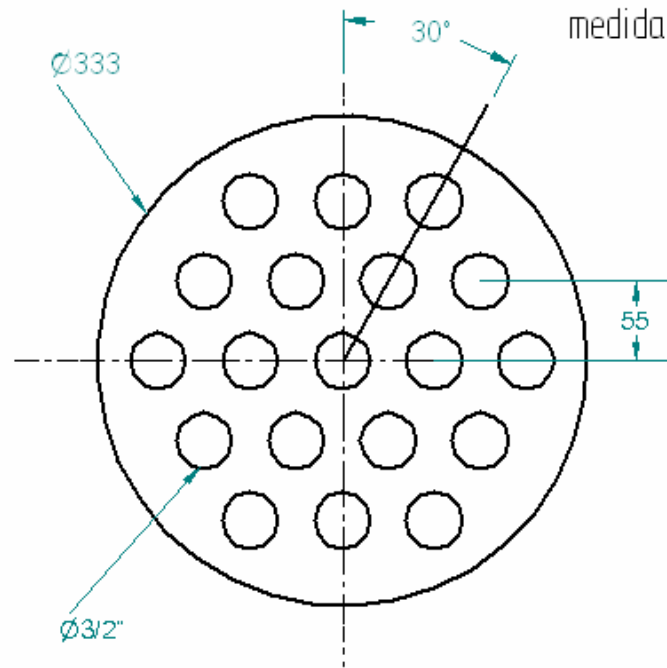
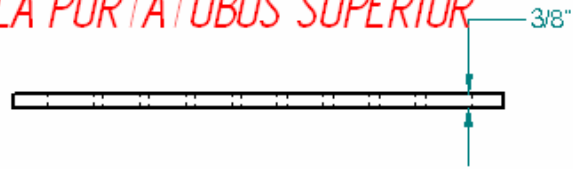
DETALLE G. QUEMADOR



ANEXO H. PLANOS DESPIECE GENERADOR DE VAPOR



1. PLACA PORTATUBOS SUPERIOR

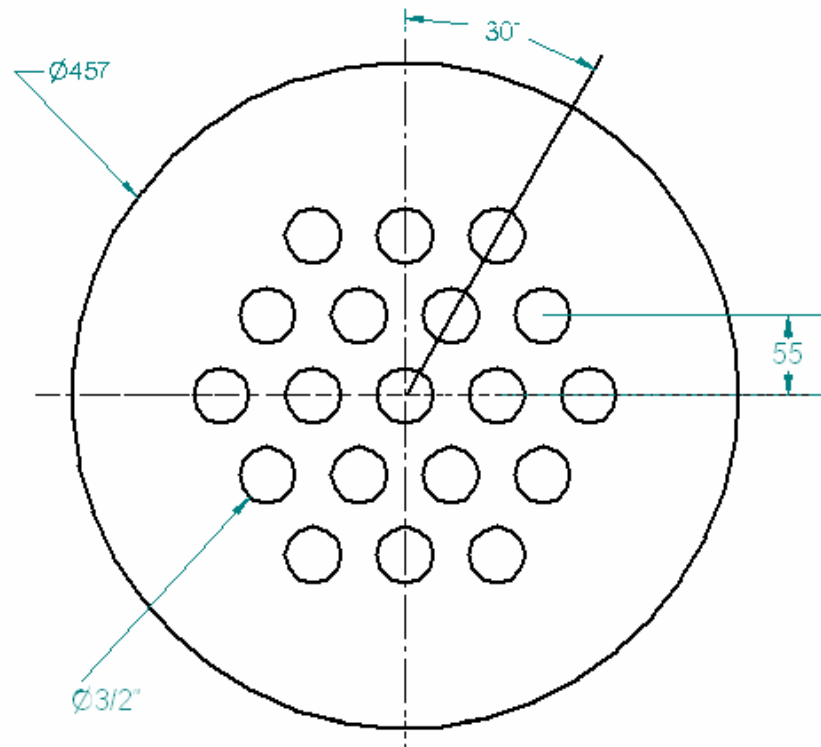


Las dimensiones estan en mm, a menos que otra medida este especificada

2. PLACA PORTATUBOS INFERIOR



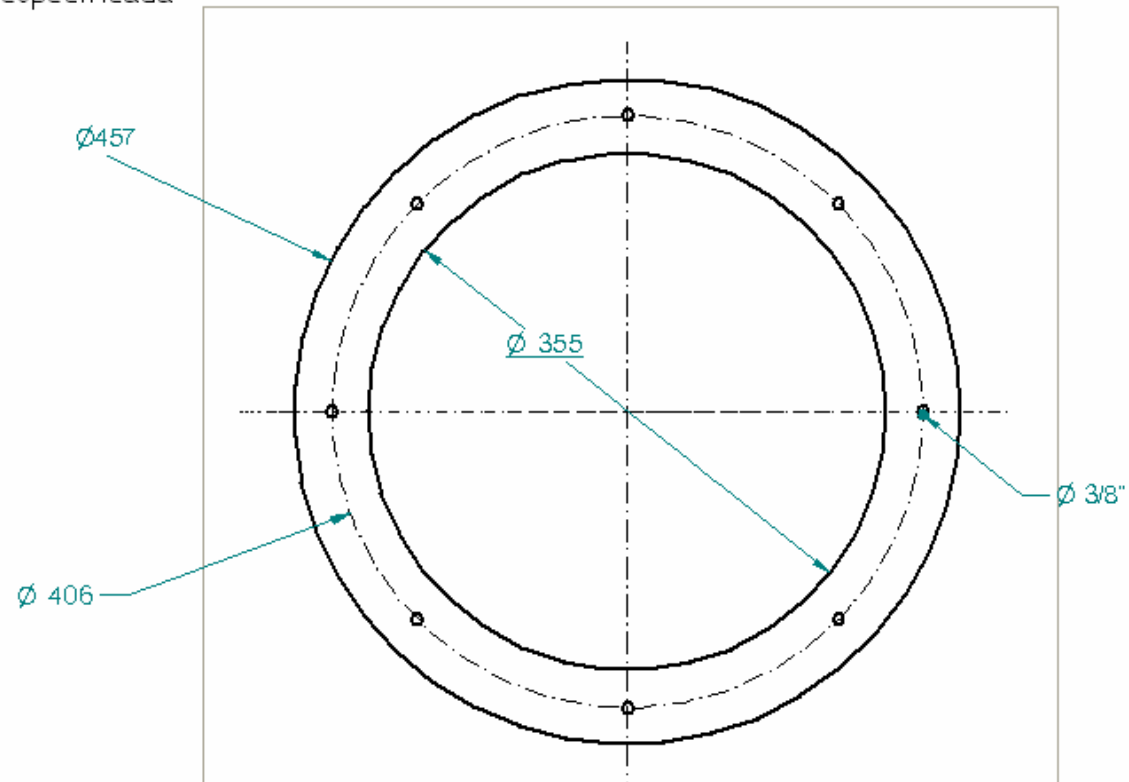
Las dimensiones estan en mm, a menos que otra medida este especificada



3. ANILLO

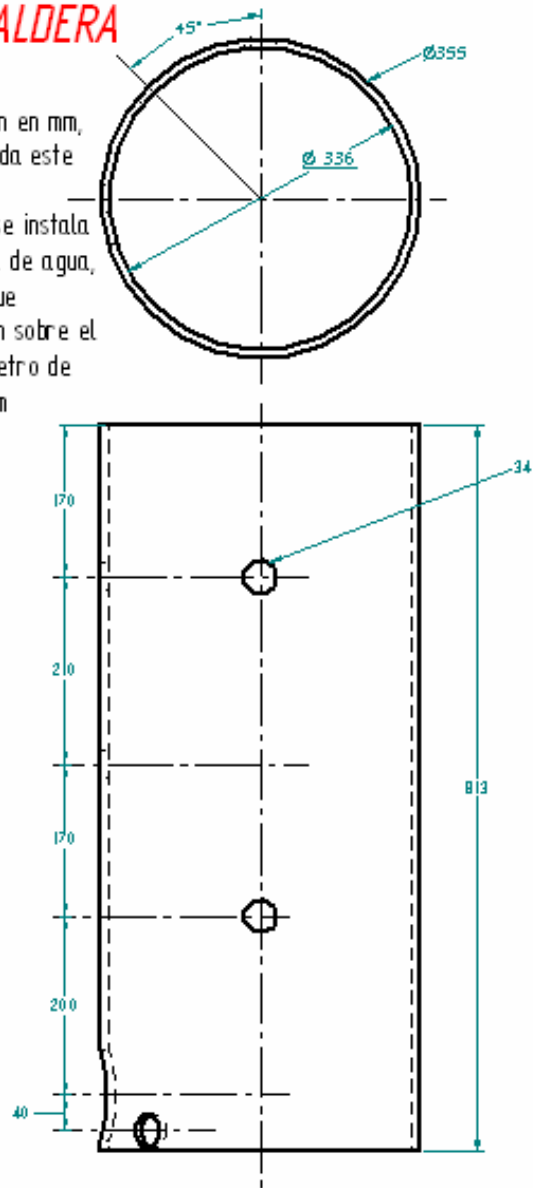


Las dimensiones estan en mm, a menos que otra medida este especificada

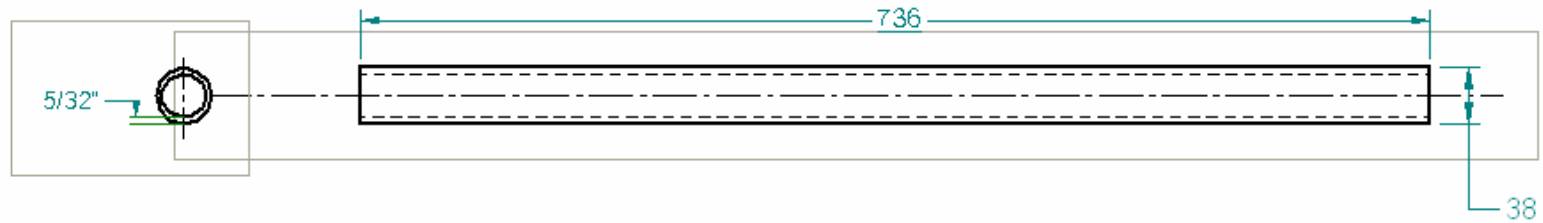


4. CUERPO CALDERA

- Las dimensiones están en mm, a menos que otra medida este especificada
- Los agujeros donde se instala el controlador de nivel de agua, el macho y la purga, que además no se observan sobre el cuerpo, tienen un diámetro de 23 mm, 120 mm y 34 mm respectivamente.



5. TUBO DE HUMOS

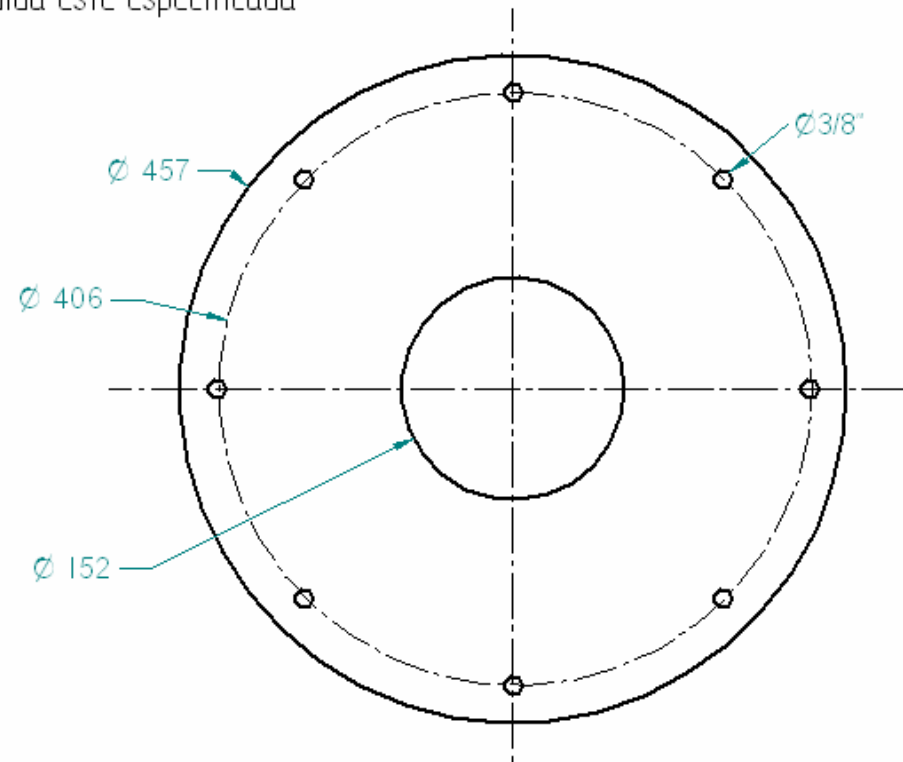


Las dimensiones están en mm, a menos que otra medida este especificada

6. CUBIERTA SUPERIOR



Las dimensiones están en mm, a menos que otra medida este especificada

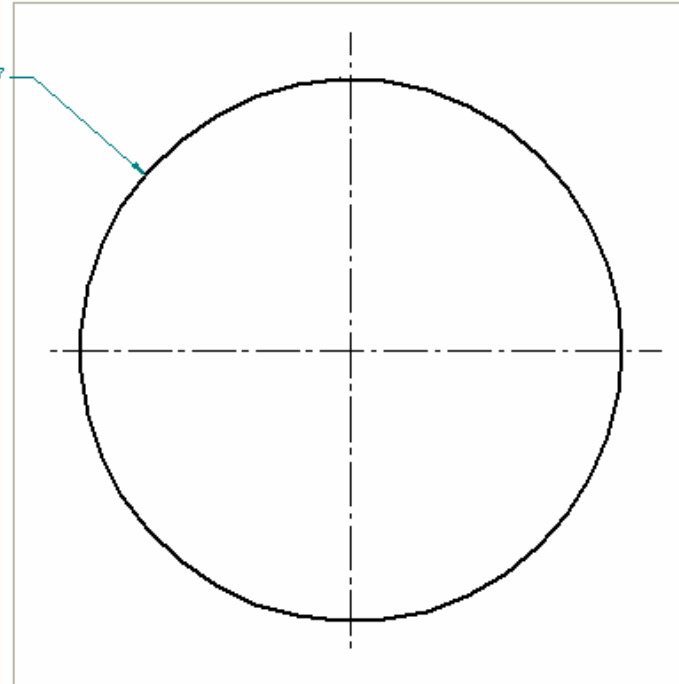


7. CUBIERTA INFERIOR

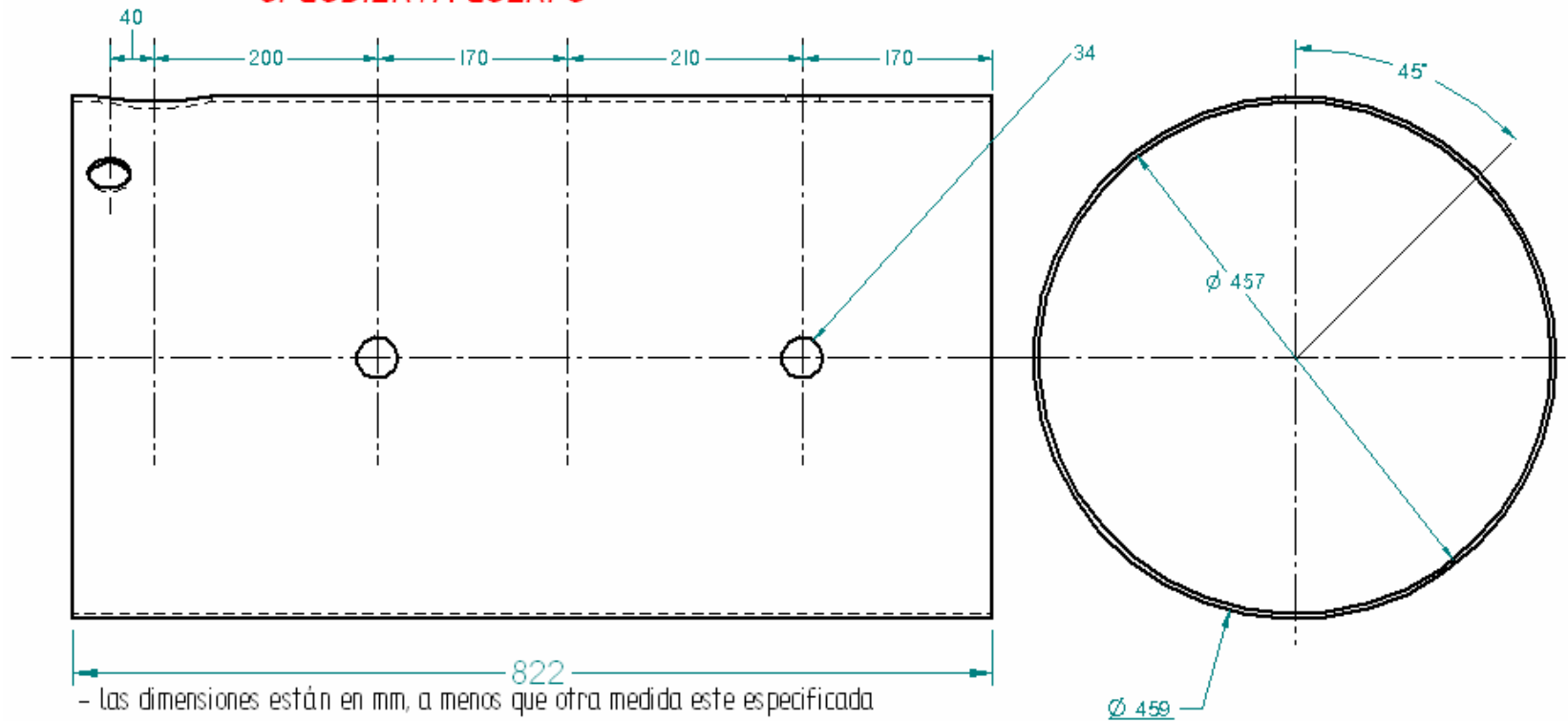


ϕ 457

Las dimensiones están en mm, a menos que otra medida este especificada

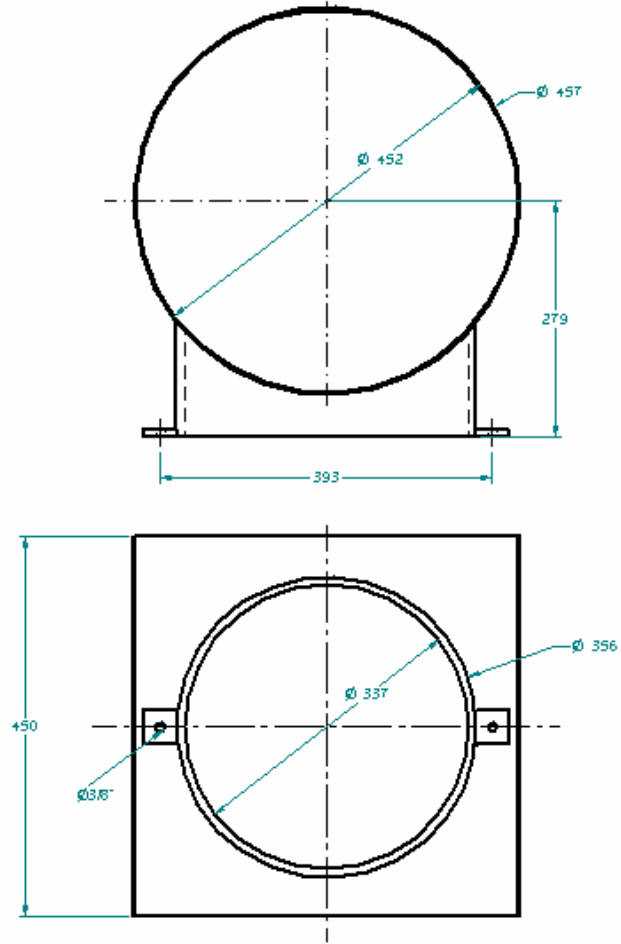


8. CUBIERTA CUERPO



- Las dimensiones están en mm, a menos que otra medida este especificada
- Los agujeros donde se instala el controlador de nivel de agua, el macho y la purga, que además no se observan sobre la cubierta de aluminio tienen un diámetro de 23 mm, 120 mm y 34 mm respectivamente.

9. CAMARA COMBUSTION



27. TAPA CAMARA COMBUSTION

