

Caracas, 03 de Diciembre del 2003

Los abajo firmantes miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Karina M. Spinelli B., titulado:

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE UN HOSPITAL.”

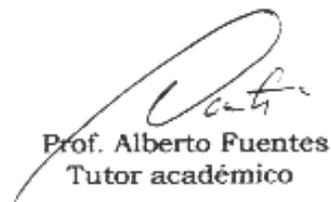
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Rodolfo Berrios
Jurado



~~Prof. Fabián Flores~~
Jurado



Prof. Alberto Fuentes
Tutor académico

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE UN HOSPITAL.”

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Spinelli B., Karina M.
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, Diciembre 2.003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE UN HOSPITAL.”

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Alberto Fuentes.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Lennys Berutti.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Spinelli B., Karina M.
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, Diciembre 2.003



A Dios por ser el creador y el guardián de de mi vida el cual nunca duerme velando por mis sueños y por ser el Padre de los Cielos y Tierra.

A Jesús de Nazaret por ser el buen pastor de mi vida y por ello nada me falta, por ser ese gran amigo incondicional y por su gran misericordia.

Al Espíritu Santo de Dios por ser la luz en mi camino por transformarme, iluminarme y guiarme siempre.

A mi madre del cielo la Virgen Santísima por brindarme ese amor de madre y por guardarme siempre dentro de su Inmaculado Corazón.

A los angelitos Angie y Franquito que se encuentran en el cielo por haberme enseñado el significado del amor y de la alegría.

A mis padres Juanita de Spinelli y Giuseppe Spinelli por haber dedicado su esfuerzo en hacer posible mi formación académica y personal especialmente a mi madre por su gran apoyo y dedicación.

A mis hermanos Franco y Alexander por su apoyo y ayuda.

A mi novio Henry Alfonso por su apoyo, amor y dedicación incondicional.

Karina Spinelli



A Dios y la Santísima Virgen María por escuchar mis oraciones y por ser el pilar de mi vida.

A mi familia por apoyarme y brindarme todo su apoyo incondicional.

A mi novio Henry Alfonso por su paciencia, apoyo y amor.

A la Universidad Central de Venezuela por ser mi casa de estudio.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV por prepararme como profesional.

A mis compañeros Ricardo Gollo, Manuel Hernández, Marcos Marcano, Débora Veitía, Thais Villegas, Ronald Carias, Pedro Chirinos, Tatiana Moreno, Orlando Sánchez, Gustavo Urbina, Rómulo Guedez, Luis Villalba, quienes han compartido conmigo durante mi carrera y me han brindado su amistad.

A la Universidad Simón Bolívar y a todo el equipo de Ingeniería Clínica.

Al Hospital “Miguel Pérez Carreño” por haberme permitido trabajar allí.

Al profesor Alberto Fuentes y Franklin Baduy por información y colaboración prestada.

A todos mis hermanos del Ministerio de Servicio Juvenil de la Comunidad Católica Carismática los “Samaritanos” por sus oraciones y apoyo.

A la Planta Experimental de Tratamiento de Agua (PETA) de la Universidad Central de Venezuela y a la Profesora Rosario por su ayuda prestada para realizar las pruebas de análisis de agua.

A la empresa Supli - Vapor y en especial al Técnico Luis Dávila por su colaboración y ayuda prestada.

A Hidrocapital por su colaboración prestada y en especial al Ing. Ernesto Infante, Ing. Carlos Landaeta y a Erick Ensalsado.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente me ayudaron en la realización de este trabajo.

*GRACIAS!!!
Karina Spinelli*

Spinelli B. Karina M.

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE UN HOSPITAL.

Tutor Académico: Prof. Alberto Fuentes. Tutor Industrial: Ing. Lennys Berutti. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2.003, 145pág.

Palabras Claves: Caldera, Vapor.

Para optimizar el sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño” se arregló la caldera que estaba fuera de servicio y la que estaba funcionando fue parada para hacerle mantenimiento correctivo pero todavía no se lo han realizado.

En dicho sistema se observó fallas en lo referente a la operabilidad y mantenimiento del Sistema de Generación de Vapor. Se realizó un diagnóstico de dicho sistema y se detectó algunas deficiencias, se obtuvo información al respecto con las normas ASME bajo las cuales se evaluó el Sistema de Generación de Vapor.

Cabe destacar que durante el estudio se observó que otro factor importante es la de los operadores ya que muchos de ellos no están capacitados para resolver cualquier eventualidad, por ejemplo, se le está suministrando agua dura a las calderas lo cual incide directamente sobre la vida útil de estas. Por esto se realizó en la planta experimental de tratamiento de agua de la U.C.V. (PETA) las pruebas de agua y se determinó que el agua no está siendo tratada

Como propuesta de optimización se diseñó rutinas de mantenimiento para la caldera, el sistema de bombeo, el sistema de distribución de vapor, la planta de tratamiento de agua, las cuales deben ser implementadas por el Departamento de Ingeniería del hospital.

La búsqueda de lograr disminuir el tiempo de respuesta ante alguna falla que pudiera generarse en dicho sistema es el objetivo primordial que persiguió el estudio para optimizar el Sistema de Generación de Vapor.



ÍNDICE GENERAL.

	Pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	1
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR ...	2
1.2.1. MISIÓN DE LA UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA UGTS	3
1.3.1. VISIÓN DE LA UGTS	3
1.3.2. PERFIL DE LA UGTS	3
1.3.3. MISIÓN DE LA UGTS.....	3
1.4. HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”	5
1.4.1. HISTORIA DEL CENTRO HOSPITALARIO	5
1.5. CONCEPTO DE INGENIERÍA CLÍNICA.....	8
1.5.1. MISIÓN DE LA INGENIERÍA CLÍNICA.....	8
1.5.2. VISIÓN DE LA INGENIERÍA CLÍNICA	8
1.5.3. RELACIÓN INGENIERÍA CLÍNICA/CENTRO DE SALUD.....	8
1.6. PROYECTO DE INGENIERÍA CLÍNICA EN EL HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”	9
1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.8. OBJETIVOS	11
1.8.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.9. ALCANCES.....	12



CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.

2.1. DEFINICIONES DE CALDERA	13
2.1.1. CALDERA	13
2.1.2. CALDERA A VAPOR.....	13
2.1.3. CALDERA DE ALTA PRESIÓN	13
2.1.4. CALDERA DE BAJA PRESIÓN	14
2.1.5. CALDERA DE CALEFACCIÓN	14
2.1.6. CALDERA DE SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE	14
2.1.7. CALDERA DE CALOR PERDIDO.....	14
2.1.8. CALDERA COMPACTA.....	15
2.1.9. CALDERA SUPERCRÍTICA O HIPERCRÍTICA.....	15
2.2. CLASIFICACIÓN DE CALDERAS	16
2.2.2. SEGÚN LA NATURALEZA DE LOS SERVICIOS PRESTADOS.....	16
2.2.3. SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.....	16
2.3. TERMINOLOGÍA DE LA CAPACIDAD O PRODUCCIÓN DE CALDERAS	18
2.3.1. CABALLO DE CALDERA	18
2.3.2. SUPERFICIE DE CALEFACCIÓN.....	18
2.4. COMBUSTIÓN	19
2.4.1. TIPOS DE COMBUSTIÓN	19
2.4.1.1. <i>Combustión completa</i>	19
2.4.1.2. <i>Combustión incompleta</i>	19
2.4.2. COMBUSTIBLE.....	19
2.5. CALOR	20
2.5.1. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	21
2.5.2. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	22
2.5.3. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN ...	22
2.5.4. FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN CALDERAS	23
2.6. EL AGUA.....	23
2.6.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA	24
2.6.2. CONTAMINANTES DEL AGUA	25
2.6.3. TIPOS DE AGUA SEGÚN SU DUREZA.....	25
2.6.3.1 <i>Dureza total</i>	26
2.6.3.2 <i>Agua dura</i>	26
2.6.4. EL PH	26
2.6.5. NECESIDADES DE AGUA PURA EN UN HOSPITAL	27
2.7. INCRUSTACIONES	28



2.8. SISTEMAS GENERALES DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PLANTAS GENERADORAS DE VAPOR.....	30
2.8.1. TRATAMIENTO INTERNO	31
2.8.2. TRATAMIENTO EXTERNO	31
2.9. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	31
2.9.1. INTERCAMBIO IÓNICO	32
2.9.2. EQUIPO PARA ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO.....	34
2.9.3. PARTES QUE COMPONEN EL TANQUE ABLANDADOR	34
2.9.4. OPERACIONES QUE EFECTÚA LA PLANTA DE TRATAMIENTO	37
2.10. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA CALDERA PIROTUBULAR	39
2.10.1. MANÓMETRO PRINCIPAL	39
2.10.2. REGULADORES DE PRESIÓN O PRESOSTATOS.....	39
2.10.3. EQUIPO DE IGNICIÓN	41
2.10.4. CONJUNTO DEL QUEMADOR.....	41
2.10.4.1. <i>Motor del ventilador</i>	41
2.10.4.2. <i>Ventilador</i>	41
2.10.4.3. <i>Compresor</i>	42
2.10.4.4. <i>Bomba de combustible</i>	42
2.10.4.5. <i>Alabes</i>	42
2.10.4.6 <i>Boquillas</i>	42
2.10.5. OJO ELÉCTRICO O UNIDAD DETECTORA DE LLAMA	42
2.10.6. UNIDAD DE MODULACIÓN	42
2.10.7. TUBOS DE FUEGO O HUMOS.....	43
2.10.8. HOGAR, TUBO DE FUEGO CENTRAL O TUBO PRINCIPAL DE FUEGO	43
2.10.9. ANILLO O MURO REFRACTARIO.....	43
2.10.10. CUERPO.....	43
2.10.10.1. <i>Cámara de agua</i>	43
2.10.10.2. <i>Cámara de vapor</i>	43
2.10.10.3. <i>Superficie de calefacción</i>	43
2.10.10.4. <i>Superficie de vaporización</i>	43
2.10.11. CHIMENEA.....	44
2.10.12. BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	44
2.11. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE UNA CALDERA PIROTUBULAR	44
2.11.1. VÁLVULAS DE SEGURIDAD	44
2.11.2. INDICADOR DE NIVEL	45
2.11.3. TAPÓN FUSIBLE	45
2.12. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	46
2.12.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	46
2.12.1.1. <i>Red de tuberías</i>	46
2.12.1.2. <i>Soportes</i>	46



2.12.1.3. Juntas de expansión.....	47
2.12.1.3.1. Tipos de juntas de expansión.....	47
2.12.1.4. Aislante térmico	47
2.12.1.5. Filtros.....	49
2.12.1.6. Trampas de vapor.....	49
2.12.1.6.1. Trampas de vapor mecánicas.....	50
2.12.1.6.2. Trampas de vapor termostáticas	51
2.12.1.6.3. Trampas de vapor termodinámicas	53

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”	55
3.1.1. INSPECCIÓN DE LA CALDERA DISTRAL	56
3.1.2. INSPECCIÓN DE LA CALDERA CONTINENTAL	59
3.1.3. SERVICIOS QUE UTILIZAN VAPOR EN EL HOPITAL.....	61
3.2. REPARACIÓN DE CALDERA POWER MASTER (DISTRAL)	66
3.3. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	67
3.4. LÍQUIDOS PENETRANTES.....	67
3.5. COLOCACIÓN DE TUBOS	69
3.5.1. MATERIAL DE LOS TUBOS	70
3.6. EXPANDIDO DE TUBOS	71
3.7. PRUEBA HIDROSTÁTICA	72
3.8. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	74
3.8.1. COMBUSTIBLE.....	77

CAPÍTULO 4 CÁLCULOS.

4.1. ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTRICO.....	78
4.2. ANÁLISIS ENERGÉTICO.....	84
4.3. PRUEBAS DE COMBUSTIÓN.....	86
4.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE LAVANDERÍA.	87
4.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE COCINA	88
4.6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE ESTERILIZACIÓN	90



4.7. PRUEBAS DE AGUA	94
4.8. CONSUMO DE COMBUSTIBLE	96
4.9. CONSUMO DE AGUA	98
4.10. CONSUMO DE VAPOR	100
4.11. OFERTA Y DEMANDA	101
4.12. EFICIENCIA	102

CAPÍTULO 5 PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN.

5.1. RUTINA DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	104
5.2. RUTINA DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO... ..	107
5.3. RUTINA DE MANTENIMIENTO PARA LAS CALDERAS	109
5.4. RUTINA DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	114
ANÁLISIS DE RESULTADOS	116
CONCLUSIONES.....	121
RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	123
ABREVIATURAS.....	125
GLOSARIO	127
APÉNDICE A	135
APÉNDICE B	136
APÉNDICE C	137
APÉNDICE D	138
APÉNDICE E	139
APÉNDICE F	140
APÉNDICE G	141
APÉNDICE H.....	142
APÉNDICE I.....	144



ÍNDICE DE FIGURAS.

Pág.

FIGURA 1.1.	ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE FUNINDES – USB	4
FIGURA 1.2.	ORGANIGRAMA DEL HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”	7
FIGURA 1.3.	ORGANIGRAMA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA CLÍNICA EN EL HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”	10
FIGURA 2.1.	TANQUE ABLANDADOR	35
FIGURA 2.2.	VÁLVULA DE MÚLTIPLE POSICIÓN	37
FIGURA 2.3.	OPERACIÓN CON VÁLVULA MÚLTIPLE Y SUMINISTRO DE SALMUERA POR SUCCIÓN	39
FIGURA 2.4.	PARTES DE UNA CALDERA DE VAPOR PIROTUBULAR	40
FIGURA 2.5.	CALDERA DE CUATRO PASOS DE HUMO	41
FIGURA 2.6.	VÁLVULA DE SEGURIDAD	45
FIGURA 3.1.	CALDERA (1) DISTRAL Y CALDERA CONTINENTAL (2)	56
FIGURA 3.2.	HOGAR O TÚNEL CORRUGADO	57
FIGURA 3.3.	PLACA DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA AUSENCIA DE LOS TUBOS	57
FIGURA 3.4.	TUBOS EN MAL ESTADO	57
FIGURA 3.5.	TAPA FIJA POSTERIOR	58
FIGURA 3.6.	ESTRUCTURA DEL QUEMADOR	58
FIGURA 3.7.	INCRUSTACIONES EN LA COLUMNA MC DONNELL	59
FIGURA 3.8.	TAPA POSTERIOR	59
FIGURA 3.9.	TAPA MOVIBLE	60
FIGURA 3.10.	ÓXIDO EN LA TAPA POSTERIOR	61
FIGURA 3.11.	MARMITAS	61
FIGURA 3.12.	VAPORIZADORES	61
FIGURA 3.13.	LAVADORA	62
FIGURA 3.14.	TREN DE SECADO	62
FIGURA 3.15.	SECADORAS	62
FIGURA 3.16.	PLANCHAS	62
FIGURA 3.17.	AUTOCLAVES	63
FIGURA 3.18.	AUTOCLAVE	63
FIGURA 3.19.	BOMBA DEL TANQUE	65
FIGURA 3.20.	MANGUERA	65
FIGURA 3.21	MANGUERA	65



FIGURA 3.22.	MANGUERAS EN TANQUE DE CONDENSADO.....	65
FIGURA 3.23.	FUGA DE AGUA	66
FIGURA 3.24.	FUGA DE AGUA	66
FIGURA 3.25.	GRIETA EN LA PLACA.....	66
FIGURA 3.26.	SOLDADURA.....	66
FIGURA 3.27.	INSPECCIÓN POR LÍQUIDO PENETRANTE.....	68
FIGURA 3.28.	TINTE, REVELADOR.....	69
FIGURA 3.29	INTERIOR DE LA CALDERA EN LA PRUEBA	69
FIGURA 3.30.	PLACA CON ENSAYO NO DESTRUCTIVO	69
FIGURA 3.31.	LÍQUIDO PENETRANTE.....	69
FIGURA 3.32.	TUBOS DE LA CALDERA	71
FIGURA 3.33.	COLOCACIÓN DE TUBOS	71
FIGURA 3.34.	EXPANSOR.....	72
FIGURA 3.35.	EXPANDIDO	72
FIGURA 3.36.	REBORDEADO.....	72
FIGURA 3.37.	REBORDEADO.....	72
FIGURA 3.38.	MANÓMETRO A 225 PSIG.....	73
FIGURA 3.39	REGISTRO DE MANO.....	73
FIGURA 3.40.	CALDERA.....	74
FIGURA 3.41.	ESTRUCTURA DEL QUEMADOR.....	74
FIGURA 3.42.	ANALIZADOR COSA 6000 HC.....	75
FIGURA 3.43.	ESPECIFICACIONES DEL COSA MODEL 6000 HC.....	75
FIGURA 3.44.	CHIMENEA.....	76
FIGURA 3.45.	TOMA DE MUESTRA.....	76
FIGURA 3.46.	RESULTADOS DE ALGUNAS MEDICIONES.....	76
FIGURA 3.47.	COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL	77
FIGURA 4.1.	MEDIDOR ULTRASÓNICO	98
FIGURA 4.2.	MEDIDOR ULTRASÓNICO	98



ÍNDICE DE TABLAS.

Pág.

TABLA 2.1. TIPOS DE COMBUSTIBLES	20
TABLA 2.2. TIPOS DE INCRUSTACIONES Y CÓMO IDENTIFICARLAS.....	30
TABLA 2.3. OPERACIONES EFECTUADAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SEGÚN LA POSICIÓN DE LA VÁLVULA MULTIPOSICIONAL	36
TABLA 2.4. ESPESORES RECOMENDABLES PARA AISLANTES SEGÚN EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE VAPOR	48
TABLA 4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GASES	86
TABLA 4.2. CÁLCULO DE LBS POR HORA DE LOS EQUIPOS DAÑADOS Y OPERATIVOS QUE UTILIZAN VAPOR	92
TABLA 4.3. CÁLCULO DE LBS POR HORA DE LOS EQUIPOS Y OPERATIVOS QUE UTILIZAN VAPOR	93
TABLA 4.4. CLASIFICACIÓN DEL AGUA, SEGÚN SU DUREZA.....	95

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.

FUNINDES – USB, Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar. Dirección: Valle de Sartenejas, Baruta. Estado Miranda.

Sede de la tesis: Gerencia de Ingeniería Clínica, Hospital “Dr. Miguel Pérez Carreño”, vuelta El Pescozón, Parroquia La Vega, Caracas, Distrito Capital.

FUNINDES-USB., Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar, es un organismo destinado a promover la vinculación de las capacidades científicas y tecnológicas de la USB.

Con las necesidades de desarrollo tecnológico del mundo industrial, generando al mismo tiempo, los recursos para autofinanciamiento y aportando niveles apreciables de ingresos propios para la Universidad. Dentro de dicha función, se encuentra la Unidad de Gestión de Tecnologías en Salud (U.G.T.S.), la cual es una unidad operativa destinada, en forma integral y exclusiva, al desarrollo de proyectos de ingeniería en el área de salud.

La U.G.T.S., surge como iniciativa liderada por los profesores de la sección de Biofísica y Bioingeniería del Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos de la Universidad Simón Bolívar, quienes a través del grupo de Bioingeniería y Biofísica aplicada han venido incursionando en el sector salud desde 1.982.

1.2.- DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR.

La Universidad Simón Bolívar es una Institución pública de Educación Superior, creada el 18 de julio de 1.967 y comenzó sus labores el 19 de enero de 1.970. Tiene una estructura dinámica adaptable al ensayo de nuevas orientaciones en los sistemas de enseñanza, de investigación y de administración educativa. La Universidad posee autonomía académica y administrativa.

1.2.1.- MISIÓN DE LA UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR.

La Universidad Simón Bolívar es una comunidad académica, innovadora, participativa, productiva y plural, en permanente aprendizaje y desarrollo, y comprometida con la excelencia, cuya misión fundamental es contribuir significativamente con:

- La formación sustentada en valores éticos de ciudadanos libres, líderes emprendedores, de alta calidad profesional y humana, orientados hacia la creatividad, la innovación, la producción, la sensibilidad y la solidaridad social.
- La búsqueda y transmisión universal del saber, la generación, difusión y aplicación del conocimiento; dentro de un foro libre, abierto y crítico.
- La transferencia directa de su labor investigativa, académica, creativa y productiva, a manera de soluciones y respuestas a las necesidades y demandas de la sociedad, a cuyo servicio se encuentra, en pos de un mundo mejor.
- La Universidad entiende esta misión como su particular manera de participar activamente en el logro de una sociedad más justa, y de promover el desarrollo armónico y sustentable de sus dimensiones sociales, políticas, culturales y económicas.

1.3.- OBJETIVOS DE LA UGTS.

- Desarrollar las áreas de Ingeniería Clínica, Ingeniería Biomédica, Biofísica y Medicina, mediante convenios con instituciones de salud a nivel nacional.
- Fortalecer internamente el grupo de bioingeniería y biofísica aplicada en el área de Ingeniería Clínica.
- Por ultimo, pretende convertir a la Universidad Simón Bolívar un elemento promotor de cambios dentro del sector salud.

1.3.1.- VISIÓN DE LA UGTS.

Establecer un sistema integral de gestión de tecnologías ofreciendo soluciones y propuestas dirigidas a las empresas del sector salud, para la consecución de sus metas y al mejoramiento de su desempeño en cada área de especialización.

1.3.2.- PERFIL DE LA UGTS.

La Unidad de Gestión de Tecnología en Salud, es una unidad operativa de FUNINDES destinada a llevar a cabo, en forma integral y exclusiva, la ejecución de proyectos de Ingeniería en el área de salud.

Está integrada por profesionales responsables en la promoción, negociación, coordinación y ejecución de proyectos.

1.3.3.- MISIÓN DE LA UGTS.

Desarrollar las áreas de Ingeniería Clínica, Ingeniería Biomédica, Biofísica y Física Médica a nivel Nacional, fomentando así el vínculo interdisciplinario entre la Biología, la Física, la Medicina y la Ingeniería.

Simultáneamente pretende convertir a la Universidad Simón Bolívar en un ente promotor de cambio dentro del Sector Salud Venezolano.

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE FUNINDES- USB.

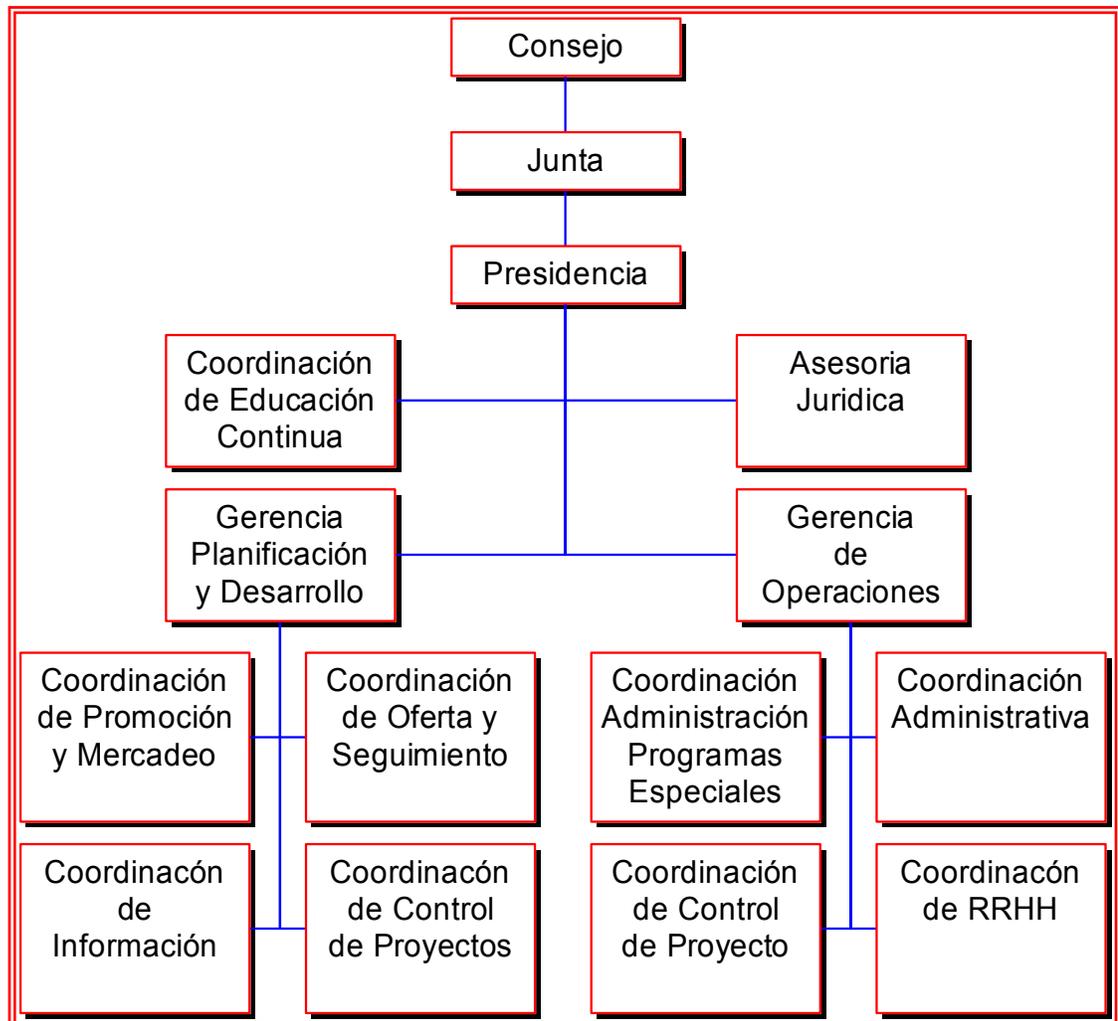


Figura 1.1.- Organigrama estructural de Funindes – USB.



1.4.- HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”.

Según el universal el 27 de enero de 1.970, a las 12:30 pm. el presidente de entonces Dr. Rafael Caldera, inauguraba el “Hospital General del Seguro Social” con el ministro de sanidad Dr. Lisandro Latuf. Sería el primero en asistencia médica y en docencia.

Funcionaría a un costo anual 27 millones de bolívares. El hospital se inauguró, a los 25 años de fundado el I.V.S.S. y a los 175 años del nacimiento de Sucre.

El hospital “Dr. Miguel Pérez Carreño”, es una de las obras de este organismo que mayor impacto ha producido en los últimos años.

Funciona en un enorme edificio de 13 pisos construidos con características de la arquitectura moderna; cuenta con 698 camas para hospitalización, proyectando para atender una población de 300.000 derecho - habitantes con una dotación de equipos de primera categoría. A nivel de los mejores del mundo y un personal médico entre quienes figuran eminentes profesionales en casi todas las especialidades de la medicina actual.

Su primer director fue el Dr. Otto Hoffman y conducía las riendas del seguro social el Dr. Rafael Alfonso Guzmán. Vale la pena señalar el hecho que en dos oportunidades anteriores, se había celebrado actos inaugurales del edificio, pero no puede citarse como el principio de su funcionamiento.

1.4.1.- HISTORIA DEL CENTRO HOSPITALARIO.

- En 1.967 se tiene conocimiento de que en este año, el servicio de Oftalmología del Hospital Dr. Ildemaro Salas, ya desaparecido, que funcionaba en San Martín, es trasladado para el Miguel Pérez Carreño, aspecto que marcó inicio de una nueva era de la Oftalmología Institucional.



- En 1.968 se inicia la automatización de las pruebas de laboratorio clínico, ya que para esa época se instalaron los primeros automatizadores que han permitido que este centro hospitalario se mantenga a la vanguardia en relación a otros organismos dispensadores de salud.
- El 27 de Enero de 1.970 fue la Inauguración del Hospital por el Presidente de la República Dr. Rafael Caldera.
- En 1.970 comenzaron a funcionar los servicios de Pediatría y Medicina con recurso humano del Instituto Traumatológico y del Desaparecido Hospital Dr. Ildemaro Salas. Posteriormente se iniciaron las labores del Servicio de Obstetricia.
- En 1.971 es realizado con éxito transplantes de Córneas de humano a humano.
- En 1.971 el servicio de cirugía de la mano que desde 1.963 funcionaba en San Martín, en el Hospital Ildemaro Salas también es trasladado al Hospital Miguel Pérez Carreño, donde se le considero como el pionero en su género en toda América de habla Hispana.
- En 1.972 se institucionaliza con rango universitario, según convenio de adscripción a la Universidad Central de Venezuela.
- En 1.977 se establecieron relaciones con las Universidades de Pittsburg y Central de Venezuela, para intercambio, a nivel de entrenamiento, de personal médico y enfermería de los diferentes departamentos de medicina crítica.
- En 1.987 se realizó el primer transplante de corazón en Venezuela a través del Hospital.
- En 1.989 un servicio de rayos x centralizados en un área especial, ubicado en el sótano del edificio que cuenta con un equipo de tomografía axial computarizada, convirtió este centro hospitalario, en el primero del I.V.S.S. en contar con equipo de esta naturaleza para el diagnóstico de enfermedades.

ORGANIGRAMA DEL HOSPITAL “DR. MIGUEL PÉREZ CARREÑO”.

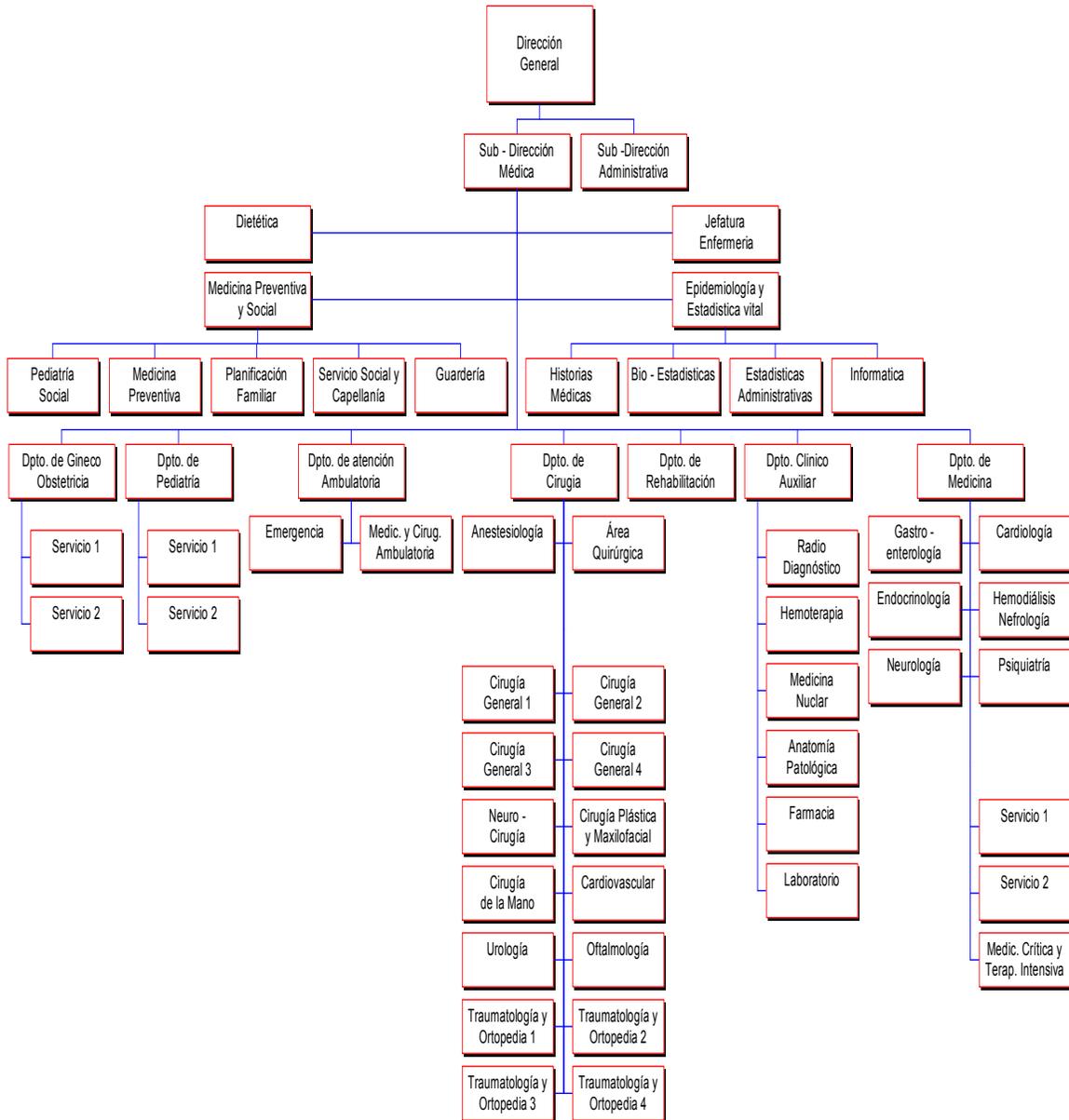


Figura 1.2.- Organigrama del Hospital “Miguel Pérez Carreño”.



1.5.- CONCEPTO DE INGENIERÍA CLÍNICA.

La Dirección de Ingeniería Clínica se encarga de la aplicación de los conceptos de ingeniería y gerencia, de los cuales permiten una adecuada, segura y eficiente utilización de todas las tecnologías de la cual dispone dicha institución.

1.5.1.- MISIÓN DE LA INGENIERÍA CLÍNICA.

Garantizar el uso seguro y efectivo de los equipos médicos, así como velar por el óptimo funcionamiento de su equipamiento industrial y planta física.

1.5.2.- VISIÓN DE LA INGENIERÍA CLÍNICA.

Establecer una gestión de tecnologías que garanticen el uso y funcionamiento óptimo de todo el equipamiento con que cuenta la institución.

1.5.3.- RELACIÓN INGENIERÍA CLÍNICA / CENTRO DE SALUD.

Instituciones de salud como hospitales y clínicas, solicitan asesorías y servicios de ingeniería clínica, para conocer y establecer la situación actual de la institución (planta física, equipos médicos, equipos industriales, etc.), con el fin de establecer un plan de recuperación. Además se crean las bases operacionales y de organización de una gerencia de ingeniería clínica, cuyo objetivo primordial es disminuir los costos de operación a través de una gerencia eficaz.

1.6.- PROYECTO DE INGENIERÍA CLÍNICA EN EL HOSPITAL “DR. MIGUEL PÉREZ CARREÑO”.

A través del departamento de Ingeniería Clínica de la Universidad Simón Bolívar, se está realizando un proyecto de implantación de un sistema integral de Gerencia Tecnológica en el Hospital Miguel Pérez Carreño, uno de los más importantes del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales (IVSS).

El proyecto, que tiene duración de un año, busca dotar al centro asistencial de un sistema integral de Gestión Tecnológica, que le permita la gerencia efectiva y eficiente de sus recursos tecnológicos, indicó la casa de estudios en un comunicado. Se establecerá una unidad de Gerencia Tecnológica en el hospital, estructurada como una dirección de ingeniería clínica, que proveerá las pautas para el manejo de los recursos del hospital, para estructurar planes de mantenimiento correctivo y preventivo; asesoramiento en la adquisición de nuevas tecnologías; establecimiento de la biblioteca técnica y cumplimiento de todas las normas de seguridad hospitalaria, entre otros. Se creará una gerencia tecnológica y otra de hotelería clínica.

El proyecto surge de un convenio entre la USB y el IVSS, y servirá como modelo para luego ser implantado en el resto de los hospitales de la salubridad pública. En el participan profesores del postgrado de Ingeniería Biomédica de la USB, así como especialistas en Ingeniería Clínica, Física Médica, Arquitectura Hospitalaria, Gerencia Tecnológica y Redes de Comunicación, todos liderados por el profesor Luis Lara, de la casa de estudios.

ORGANIGRAMA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA CLÍNICA EN EL HOSPITAL “DR. MIGUEL PÉREZ CARREÑO”.

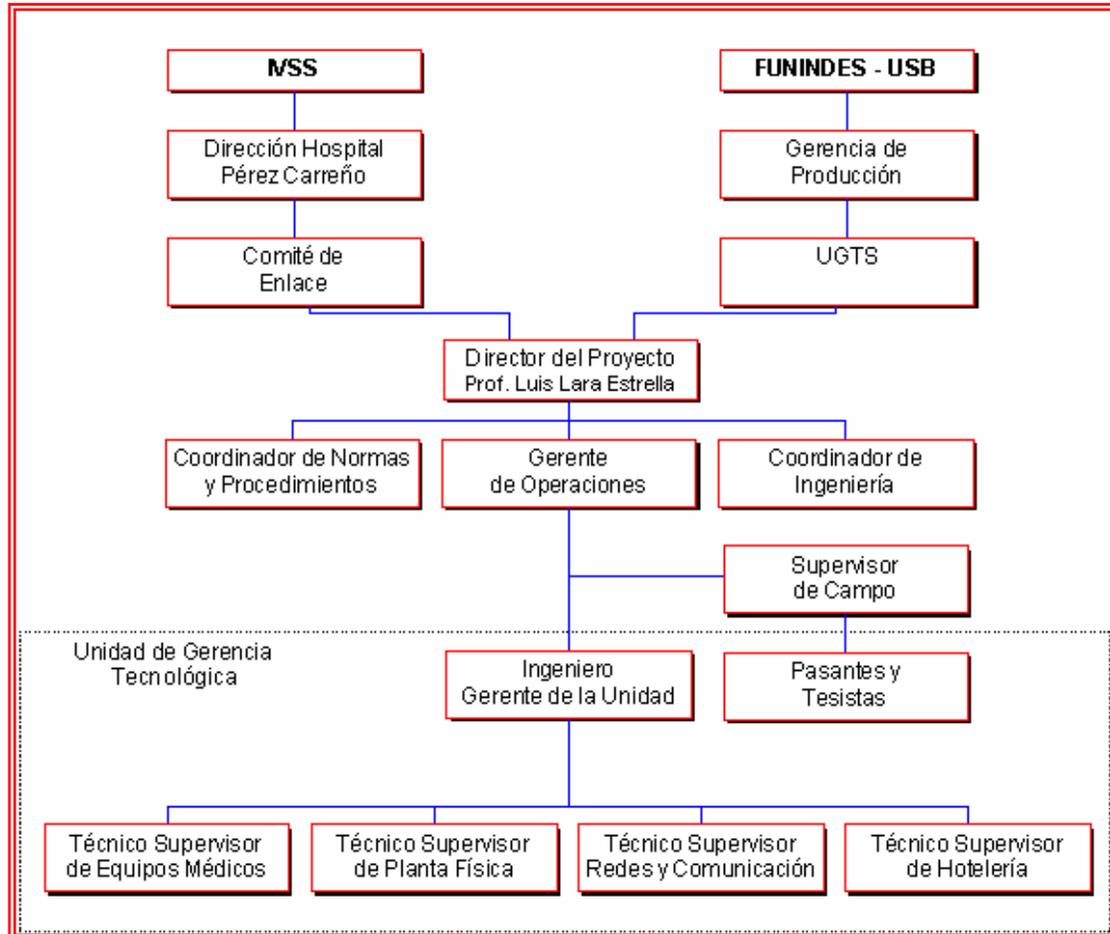


Figura 1.3.- Organigrama del proyecto de Ingeniería Clínica en el Hospital “Miguel Pérez Carreño”.

1.7.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La situación actual del Hospital “Miguel Pérez Carreño” y de muchos hospitales venezolanos, es crítica en cuanto a la parte de insumos, así como también en el área de Generación de Vapor el cual se utiliza en el área de cocina, lavandería, central de suministro (esterilización), en el servicio de fórmulas lácteas del hospital, etc., por esto surge la necesidad de optimizar este sistema ya que consta de dos (2) calderas: Una caldera marca Distral de 300 HP que en los actuales momentos esta fuera de servicio, y una caldera marca Continental de 4.694 kg. /hr, que si dejara de funcionar se paralizarían totalmente las áreas que utilizan vapor para prestar sus servicios; esta planta tiene aproximadamente 20 años funcionando.

Hay fugas de vapor y agua tanto en tuberías de suministro como en tuberías de retorno entre muchas cosas mas, el trabajo consiste en hacer un estudio para optimizar la Generación de Vapor, cumplir con la demanda de las áreas que dependen del suministro de vapor del hospital y hacer un estudio técnico - económico para luego ser implementado, contando para esto con el cumplimiento de normas, buen funcionamiento de los accesorios de la caldera, buena operación de la misma, mantenimiento preventivo y así tener un óptimo funcionamiento del sistema de Generación de Vapor.

1.8.- OBJETIVOS.

1.8.1.- OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño”.

1.8.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Describir el sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño”.



- Diagnosticar la situación actual del sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño”.
- Presentar alternativas de optimización para el sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño”.

1.9.- ALCANCES.

En este Trabajo Especial de Grado, se hará una evaluación del sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño”. Luego de hacer dicha evaluación se procederá a hacer un estudio para la optimización del sistema conociendo la oferta de vapor teórica que debería tener el hospital y la demanda teórica y comparando esto con la demanda y oferta que posee en los actuales momentos el hospital.

2.-MARCO TEÓRICO.

2.1.- DEFINICIONES DE CALDERA.

2.1.1.- Una **caldera** es un recipiente cerrado a presión en el que se calienta un fluido para utilizarlo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de una materia combustible ya sea sólido, líquido o gaseoso o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

2.1.2.- Una **caldera a vapor** es un recipiente cerrado en el cual se genera vapor de agua o de otro fluido para uso externo por aplicación al mismo del calor resultante de la combustión de una materia combustible (sólida, líquida o gaseosa) o por el uso de electricidad o energía nuclear.

2.1.3.- Una **caldera de alta presión** es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psig (1,05 kg./cm²) manométrica (1,05 atmósferas efectivas o manométricas). Por debajo de esta presión se clasifican como calderas de vapor de baja presión.

De acuerdo a la sección I del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineering) una caldera miniatura de alta presión es una caldera que no excede de los siguientes límites: 16" (406,4 mm) de diámetro interior de virola (o chapa envolvente cilíndrica); 5 pies cúbicos (0,1415 m³) (141,6 litros) exclusivo del contenedor de hierro y aislamiento; y 100 psig (7,03 kg./cm² efectivos o manométricos) de presión. Si se exceden estos límites, se trata de una caldera de potencia. Los requisitos de la soldadura para estas calderas pequeñas no son tan severos como para las grandes.

Una caldera de potencia es una caldera de vapor de agua o de fluido que trabaja por encima de 15 psig (1,05 kg./cm²) y excede el tamaño de una caldera miniatura. Esto también se aplica y comprende a las calderas de calefacción y suministro de agua caliente que funcionan por encima de

160 psi (11,2 kg./cm²) o 250 °F (121,1 °C). Las calderas de potencia también se llaman calderas de alta presión.

2.1.4.- Una **caldera de baja presión** se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig (1,05 kg./cm²) de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psig (11,2 kg./cm²) o 250 °F (121 °C).

2.1.5.- Una **caldera de calefacción** de agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera, trabaja a presiones que no exceden de 160 psig (11,2 kg./cm²) o de una temperatura de agua no mayor de 250 °F (121 °C) en o cerca de la salida de caldera. Estos tipos de calderas se consideran calderas de calefacción de baja presión, construidas bajo las especificaciones de la Sección IV del código ASME de calderas. Si se exceden las condiciones de presión o temperatura, las calderas deben diseñarse como de alta presión común bajo las especificaciones de la Sección I del Código ASME.

2.1.6.- Una **caldera de suministro de agua caliente** o, más brevemente dicho, una caldera de agua caliente, está completamente llena de agua y suministra agua caliente para usarse en el exterior de ella (sin retorno) a una presión que no excede de 160 psig (11,2 kg./cm²) efectivos o a una temperatura de agua que no pase de 250 °F (121 °C). Estos tipos de caldera se consideran también calderas de baja presión, construidas según los requisitos de la Sección IV (calderas de calefacción) del código ASME. Si se sobrepasan la presión o temperatura, estas calderas deben diseñarse como calderas de alta presión.

2.1.7.- Una **caldera de calor perdido** utiliza subproductos térmicos como gases de horno de laminación o siderurgia, gases de escape de una turbina de gas o subproductos de un proceso de fabricación. El calor residual se pasa por unas superficies de intercambio térmico para producir vapor o agua caliente para uso convencional. Las mismas normas básicas del

código ASME de construcción se aplican a todas las calderas de recuperación de calores perdidos al igual que se aplican a las calderas calentadas por combustibles convencionales, y los equipos auxiliares y de seguridad normalmente requeridos en una caldera se precisan también para una unidad de calores perdidos.

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido, mientras que generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básicamente lo mismo. La mayoría de las leyes estatales están aún escritas bajo la vieja nomenclatura básica de calderas.

2.1.8.- Una **caldera compacta** es una caldera completamente montada en fábrica, de tubos de agua, de tubos de humos o de fundición, e incluye quemador, controles y elementos de seguridad.

Una caldera montada en fábrica es más económica que una unidad montada en campo, de la misma capacidad de producción de vapor.

Mientras que una caldera montada en fábrica no es una caldera fuera de serie, generalmente puede montarse y entregarse mucho más rápido que una caldera montada en campo, los tiempos de instalación y puesta en marcha son sustancialmente más cortos. Los trabajos realizados en fábrica normalmente pueden ser supervisados y realizados a costos más bajos.

2.1.9.- Una **caldera supercrítica o hipercrítica** funciona por encima de la presión crítica absoluta 3.206,2 psi (225,4 kg./cm²) y 705,4 °F (374,1 °C) de temperatura de saturación. El vapor y el agua tienen una presión crítica de 225,4 kg./cm². A esta presión el vapor y el agua tienen la misma densidad, lo que significa que el vapor está comprimido tan intensamente como el agua. Cuando esta mezcla se calienta por encima de la temperatura de saturación correspondiente de 705,4 °F (374,1 °C) para esta presión, se produce vapor seco sobrecalentado capaz de realizar trabajo útil por su presión elevada.

Este vapor seco está especialmente indicado para mover turbogeneradores.

Las calderas de presión supercríticas son de dos tipos: de paso directo y de recirculación. Ambos tipos operan en el rango por encima de los 225,4 kg./cm² y 374,1 °C. En este rango las propiedades del líquido y del vapor saturado son idénticas; no hay cambio en la fase líquido – vapor por lo que no existe nivel de agua y, por lo tanto, no se precisa calderín.

2.2.- CLASIFICACIÓN DE CALDERAS.

2.2.2.- Según la naturaleza de los servicios prestados:

➤ **Caldera estacionaria:**

Es la instalada permanentemente en una posición fija en un lugar.

➤ **Caldera portátil:**

Está montada sobre un camión, barco, pequeño bote de río u otro aparato móvil.

➤ **Caldera de locomotora:**

Es una caldera diseñada especialmente para vehículos de tracción autopropulsados sobre raíles (también se usa para servicio estacionario).

➤ **Caldera marina:**

Es normalmente una caldera de tipo especial de cabezal bajo, destinada para barcos de carga y pasajeros con una capacidad de vaporización inherentemente rápida.

2.2.3.- Según el tipo de construcción:

➤ **Calderas de fundición:**

Son unidades de calefacción de baja presión construidas por secciones de fundición a presión de acero, bronce o latón. Los tipos normales fabricados son clasificados por el modo en que se disponen o ensamblan las secciones de fundición por medio de conectores o niples, colectores exteriores y manguitos roscados. Hay tres tipos de calderas de fundición:

1. **Calderas verticales de fundición** de secciones colocadas o montadas verticalmente una encima de otra, con accesorios de conexión que unen las secciones.
2. **Calderas horizontales de fundición** por secciones conectadas o ensambladas horizontalmente de modo que las secciones se mantienen juntas.
3. **Pequeñas calderas de fundición** también construidas en una pieza o molde simple de pieza única. Éstas son generalmente pequeñas calderas usadas principalmente en el pasado para servicios de agua caliente.

Las **calderas de acero** pueden ser de alta presión o de baja de presión y, hoy en día, son normalmente de construcción soldada. Están divididas en dos clases:

1. En las **calderas de tubos de fuego o tubos de humos (pirotubulares)**, los productos de la combustión pasan a través del interior de los tubos con el agua rodeándoles por el exterior. Las calderas de tubos de humos generalmente son utilizadas para capacidades hasta 22.000 kg. por hora y presión de 21 kg./cm². Por encima de esta capacidad y presión, se usan las calderas de tubos de agua. Las calderas de tubos de humos o pirotubulares se clasifican como calderas de virolas de chapa o cilíndricas. El agua y el vapor están recluidos en la virola o cilindro de chapa. Esta disposición limita el volumen de vapor que puede generarse sin hacer las virolas demasiado grandes y, con respecto a la presión, el espesor de chapa requerido sería demasiado grande como para fabricarlas en altas presiones.

2. En las **calderas de tubos de agua (acuotubulares)**, el agua pasa o circula por el interior de los tubos y los productos de la combustión rodean a los tubos por su parte exterior.

2.3.- TERMINOLOGÍA DE LA CAPACIDAD O PRODUCCIÓN DE CALDERAS.

La capacidad o la potencia de caldera puede expresarse en HP (caballos), kg./hora o (libras/hora), kilocalorías/hora (Btu/hora) y, para calderas de centrales, la capacidad de generación tan grande puede darse en megavatios de electricidad. Las calderas de calefacción pueden tasarse en HP, libras/hora (kg./ hora) y Btu/hora (Kcal./hora), pero sus capacidades son también descritas en términos relacionados con la superficie de transferencia térmica necesaria para un espacio.

2.3.1.- Un ***caballo de caldera*** (HP de caldera) se define como la evaporación en términos de vapor saturado seco de 34,5 libras/hora de agua (15,65 kg./hora) a temperatura de 100 °C (212 °F). Así pues, un HP de caldera, por este método, es equivalente a una capacidad de 33,47 Btu/hora (8,4344 kcal./hora) y se toma normalmente como una superficie de calefacción de caldera de 10 pies cuadrados (0,92 metros²). Pero diez pies cuadrados de superficie de calefacción en una caldera moderna genera en cualquier caso de 50 a 500 libras/hora de vapor (22,7 kg./ hora a 227 kg./hora). Hoy en día la capacidad de producción de las calderas grandes está establecida en tantos kg./hora de vapor o Btu/hora (kcal./hora) o megavatios de potencia producida.

El término superficie de calefacción se usa también para definir o cifrar la capacidad de una caldera.

2.3.2.- La ***superficie de calefacción*** de una caldera es el área, expresada en metros cuadrados o (pies cuadrados) que está expuesta a los productos de la combustión. Se deben considerar las siguientes partes en la superficie de caldera para determinar la cantidad de superficie de calefacción disponible para la producción de vapor o agua caliente: tubos, cajas de humos, superficies de virola (hogar), chapas de encastramiento de tubos, colectores principales de caldera y otras.

2.4.- COMBUSTIÓN.

La combustión es un proceso en el cual la combinación del combustible con el oxígeno del aire produce calor. Químicamente, es la oxidación de una sustancia con desprendimiento de calor y a veces de luz.

La reacción de combustión es un proceso de oxidación; el carbono del combustible se combina con el oxígeno del aire para formar el gas denominado dióxido de carbono, el hidrógeno se combina con el oxígeno para formar agua.

El peso de combustible utilizado, más el peso del aire empleado en la combustión es exactamente igual al peso de los gases de combustión descargados al hogar, el de las cenizas producidas y otros sólidos residuales.

Para mantener la combustión, es necesario suministrar cierta cantidad de aire y remover los productos resultantes de dicha combustión, mediante el tiro. Cuando la acción natural (efecto de la chimenea) es insuficiente se utiliza un ventilador para efectuar el tiro forzado.

2.4.1.- Tipos de combustión.

Existen dos tipos de combustión:

2.4.1.1.- Combustión completa:

Es aquella donde cada molécula de carbono se combina con una molécula de oxígeno para producir dióxido de carbono (CO_2) y desprender 14.093 Btu por cada libra de combustible quemado.

2.4.1.2.- Combustión incompleta:

En ella cada molécula de carbono se combina con un átomo de oxígeno para formar monóxido de carbono (CO) y desprender 3.940 Btu esto es consecuencia de la combustión incompleta del carbono. Se puede notar la menor producción de calor que existe en este tipo de combustión.

2.4.2.- Combustible:

Se llama combustible a aquellas sustancias que arden rápidamente con gran producción de calor. Los combustibles son clasificados en tres

grupos principales: sólidos, líquidos y gaseosos. Los grupos a su vez se subdividen en combustibles naturales y procesados, tal como se muestra a continuación:

COMBUSTIBLES	SÓLIDOS	LÍQUIDOS	GASEOSOS
Naturales	Hulla (antracita, semibituminoso, bituminoso). Turba. Madera	Petróleo.	Gas natural.
Procesados	Carbón pulverizado. Carbón de leña. Coque	Aceites destilados. Alquitranes de hulla. Residuo de refinería.	Gas de refinería. Gas de Coque. Gas de hornos de fundición. Gas generador de monóxido de carbono.

Tabla 2.1.- Tipos de combustibles.

2.5.- CALOR.

Cuando ocurre una interacción de calor en un sistema, se observan dos sucesos distintos. El primero es un intercambio de energía y el segundo es que este intercambio de energía no podrá presentarse si no hay una diferencia de temperaturas entre el sistema y sus alrededores. En consecuencia, puede definirse el calor como la energía en transición a través de las fronteras de un sistema debido a la diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores. El flujo de calor puede tener lugar por

conducción, convección o radiación y normalmente tiene lugar de los tres modos en el interior de la caldera.

La capacidad de producción de calor depende de los siguientes factores:

- Grado de combustión en el hogar.
- Extensión de la superficie de calefacción.
- Proporción en la que se distribuye la superficie, en áreas de calefacción primaria (calor radiante) y secundarias (calefacción por convección).
- La circulación del vapor, del agua y la de los gases de combustión.

2.5.1.- Definición del proceso de transferencia de calor por conducción.

La conducción se define como el proceso mediante el cual, la energía fluye en un sistema de una temperatura más alta a una más baja. El sistema puede estar constituido por un medio ya sea sólido, líquido o gaseoso. También el sistema puede estar constituido por una combinación de diferentes medios que estén en contacto físico directo.

En el proceso de conducción no hay desplazamiento molecular apreciable y la transferencia se realiza el paso de energía de una molécula a otra.

La transferencia de calor se realiza porque la naturaleza busca siempre establecer un equilibrio térmico entre los diferentes medios que la integran, es por esto que las moléculas que poseen una mayor cantidad de energía, transfieren parte de ella a las moléculas que la posean en menor cantidad.

La transferencia de calor en un medio se realiza hasta que se logra un equilibrio térmico, y lo cual se obtiene cuando la totalidad del medio alcanza una temperatura uniforme. En medios fluidos (líquidos y gases), la conducción está generalmente acompañada por transferencia de calor por convección y en algunos casos por radiación. Sin embargo, usualmente se asocia el proceso de conducción de calor en sistemas sólidos.

2.5.2.- Definición del proceso de transferencia de calor por convección.

Generalmente, se asocia el proceso de convección con la transferencia de calor entre una superficie sólida y un líquido o gas.

El mecanismo mediante el cual fluye el calor de una superficie al fluido que lo rodea sigue los siguientes pasos:

- a) En primer lugar la energía calorífica fluye por convección desde la superficie hacia las moléculas de fluido adyacentes a la superficie.
- b) Luego esta energía transferida permite que aumente la energía interna y la temperatura de las moléculas adyacentes a la superficie.
- c) Estas moléculas adyacentes debido a su mayor temperatura, se mueven hacia regiones del fluido de menor temperatura. Al mezclarse partículas de diferentes temperaturas tratan de igualar su temperatura en la búsqueda de un equilibrio térmico.
- d) Se puede apreciar que se produce una transferencia tanto de masa como de energía. Por lo tanto, el mecanismo de transferencia no se debe solamente a un gradiente de temperatura, sino también a los perfiles de velocidad dentro del fluido. El resultado neto es la transmisión de energía y la cual ocurre en la dirección del gradiente de temperatura, a este proceso se le denomina flujo de calor por convección.

2.5.3.- Definición del proceso de transferencia de calor por radiación.

La radiación térmica se define como el proceso mediante el cual se transmite calor desde una región con temperatura alta, hacia una con temperatura baja, y en donde las regiones están separadas por un espacio que puede inclusive ser un vacío. La radiación térmica es la única clase de transferencia de calor que puede transmitirse en el vacío.

La radiación viaja en un vacío a la velocidad de la luz (300000 km./seg.) sin requerir un medio ya sea sólido, líquido o gaseoso

para su propagación. Es importante recordar que tanto la conducción como la convección requieren de un medio para su propagación.

Es necesario hacer énfasis en que la radiación térmica también se puede transmitir a través de un medio sólido, líquido o gaseoso.

2.5.4.- Factores que afectan la transferencia de calor en las calderas.

La transferencia de calor en las calderas puede variar por la presencia de los siguientes factores:

- a) La turbulencia o impacto de los gases calientes sobre las superficies que separan el agua de la zona de calentamiento. A mayor turbulencia, mayor transferencia.
- b) La temperatura de la llama o de los productos de la combustión. A mayor temperatura de la llama mayor transferencia de calor.
- c) Cantidad de escoria, cenizas flotantes o acumulación de hollín en el lado de la llama. A mayor acumulación de escoria y ceniza menor transferencia.
- d) Conductividad del metal. A mayor conductividad del metal mayor transferencia de calor.
- e) Depósitos o precipitaciones en el lado del agua. A mayores depósitos e incrustaciones, menor transferencia de calor.
- f) Turbulencia y movimiento del vapor de agua. A mayor turbulencia, mayor transferencia de calor.

2.6.- EL AGUA.

El agua es un compuesto químico formado por la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno (H₂O), para dar un líquido incoloro, inodoro e insípido. El agua químicamente pura es un líquido muy escaso y difícil de obtener, ya que frecuentemente se contamina con

sustancias con las que entra en contacto por ser un solvente universal, en la que todas las sustancias son solubles hasta cierto grado.

Las impurezas que se encuentran en el agua pueden llegar a variar dependiendo de su origen, siendo algunas de estas:

- Gases disueltos.
- Microorganismos.
- Sustancias minerales disueltas.
- Materia orgánica.
- Sólidos en suspensión.

El grado en que estas impurezas sean dañinas depende de:

- Uso
- Cantidad y naturaleza de las impurezas contenidas.
- La tolerancia que cada caso en particular puede presentar.

2.6.1.- Clasificación del agua.

El agua puede ser clasificada según su uso:

A. Aguas para consumo industrial.

La calidad requerida para el agua de uso industrial varía según los usos finales, dependiendo entonces de la tolerancia para algunas impurezas.

Muchas veces la calidad requerida en el agua es tan alta que demanda prácticamente la remoción completa de todas las impurezas, pero para la gran mayoría de los usos la calidad requerida para el agua no es tan alta y en estos casos sería innecesario y antieconómico proceder a remover todas las impurezas. Lo único que se debe realizar es una remoción completa de sólo las impurezas dañinas o su reducción a límites no perjudiciales, para así evitar posibles daños a instalaciones o equipos.

Las aguas usadas en plantas industriales pueden clasificarse brevemente:

- 1.** Agua de alimentación de calderas.
- 2.** Agua de enfriamiento.
- 3.** Agua de proceso.

4. Agua para propósitos generales.

B. Aguas para consumo humano.

El agua para ser apta al consumo humano debe estar libre de bacterias nocivas a la salud, sin turbidez, ser insípida, incolora e inodora. Existen diferentes procesos físicos y químicos que permiten convertir el agua para el consumo humano, donde las más importantes son:

- 1.** Sedimentación.
- 2.** Coagulación.
- 3.** Filtración.
- 4.** Desinfección.
- 5.** Aireación.

C. Aguas recreacionales.

D. Aguas para uso agrícola.

E. Aguas para navegación.

2.6.2.-Contaminantes del agua.

- Sólidos y gases ionizados disueltos.
- Sólidos y gases no ionizados disueltos.
- Materia de partículas reparables.
- Microorganismos.
- Pirineos.
- Sustancias minerales disueltas.
- Sólidos en suspensión.

2.6.3.- Tipos de agua según su dureza.

El agua puede ser clasificada en dura o blanda, ácida o alcalina, dependiendo de las características predominantes reflejadas por los compuestos que contienen. Es de especial interés el término “agua dura”, siendo este creado con la finalidad de definir su demanda de jabón, para determinar la calidad respecto a las características necesarias para fines de lavandería. Otra definición de agua dura, es aplicada para identificar su capacidad de utilización en tuberías de agua caliente, calderas y otras

unidades donde la temperatura del agua es alta, ya que su mayor o menor dureza indicará la posibilidad de que dicha agua forme depósitos.

La dureza del agua se destaca principalmente por la presencia de sales de calcio y magnesio disueltas en ella. A pesar de esto existen otros indicadores de dureza, como por ejemplo: el hierro, el aluminio, ácidos orgánicos y minerales, etc.

2.6.3.1.- La **dureza total** es una medida del contenido de calcio y magnesio y todos los demás compuestos presentes en el abastecimiento de agua. La alcalinidad del agua se debe a la presencia de compuestos alcalinos tales como hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

2.6.3.2.- El **agua dura** es aquella que presenta un alto contenido de sales de calcio y magnesio: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos. Las altas concentraciones de estas sales provocan la formación de depósitos e incrustaciones creando un grave problema, las cuales afectan a las calderas, destiladores, esterilizadores, vaporizadores, torres de enfriamiento, etc., al ser alimentados con agua dura, conllevando a la disminución del rendimiento de los equipos por dificultarse la transferencia de calor, requiriéndose entonces mayores temperaturas para normalizar el proceso y por ende mayor consumo de combustible y energía eléctrica.

2.6.4.- El PH.

Todos los metales son más o menos solubles en el agua y al entrar en solución dependen sin embargo del valor de PH. Por debajo de un PH de 5 el agua en realidad es suficientemente ácida para disolver el acero.

La corrosión es relativamente uniforme y el acero gradualmente se adelgaza hasta que es demasiado débil para soportar la presión o desarrolla un pequeño agujero.

El valor de PH de exactamente 7 indica que el agua ni es ácida ni es alcalina, esta agua es neutra.

Los valores de PH inferiores a 7 indican que el agua está en la región ácida, cuanto más bajo sea el número inferior a 7 mayor será la acidez de muestra.

Los valores de PH superiores a 7 indican que la muestra del agua se halla la región alcalina y de nuevo cuanto mayor sea el número, más alcalina será la muestra.

El valor de PH de cualquier agua puede ser controlado mediante tratamiento químico y esa es la única forma de poder controlarlo.

Entre un PH de 5 y uno de 9,4 se produce la formación de picaduras a un régimen que depende de la concentración del oxígeno en el agua. Por lo tanto mientras este funcionando la caldera es necesario que todo el aire se excluya del agua de alimentación a la caldera.

Se recomienda que el PH del agua de alimentación para calderas se mantenga entre 8,5 y 11,5 en todo momento. Una comprobación periódica por una compañía de tratamiento de aguas de confianza debe ser efectuada para confirmar esta graduación.

2.6.5.- Necesidades de agua pura en un hospital.

El suministro de agua para los hospitales y otras instituciones debe ser de calidad apropiada, libre de hierro o magnesio, turbidez y color y la que se usa en la lavandería, esterilizadores, cocina y para alimentar las calderas debe tener dureza cero independientemente del contenido original de esta en el agua cruda.

El agua con que se abastece el hospital debe estar dentro de los límites aceptados por la secretaría de salubridad y asistencia para considerarla potable. El contenido de sales y de magnesio que produce la dureza del agua la que se refleja en la práctica en mayor consumo de jabón y detergente, es recomendable que no pase de 40 a 50 mg/litro de CaCO_3 (Carbonato Cálcico).

Es conveniente que el agua que se usa en lavandería, cocina y esterilización llegue sin dureza alguna, sin turbidez, color, hierro, magnesio,

etc., y con calidad biológica comprobada, para lograrlo es necesario utilizar equipos de ablandamiento de agua que se sitúan en la casa de máquinas o sala de calderas.

Debe estar libre de la tendencia de formar incrustaciones o a corroer el metal de las calderas y sus accesorios sin ocasionar arrastre ni espuma. Agua de estas características son difíciles de obtener excepto mediante purificación artificial, con la cual las impurezas capaces de ocasionar incrustaciones, corrosión entre otros factores indeseables se eliminan o se cambian a productos menos perjudiciales.

Fundamentalmente el agua tratada es necesaria en un hospital por las siguientes razones:

- Para no contaminar al paciente con microorganismos o minerales que deterioren su salud.
- Para aumentar la vida útil de los equipos y disminuir las interrupciones de uso por mantenimiento correctivo.
- Para garantizar pruebas analíticas no alteradas por impurezas del agua.

2.7.- INCRUSTACIONES.

Las formaciones cristalizadas de sales minerales son llamadas incrustaciones. Estas son principalmente de calcio y magnesio, las cuales se depositan en la superficie interna de las calderas, tuberías, etc., especialmente bajo la acción de altas temperaturas y presiones.

Es necesario distinguir entre incrustaciones y lodo. Las incrustaciones son aquellos depósitos adherentes en las calderas, mientras que el lodo se refiere a los depósitos no adherentes pudiéndolos eliminar a través de la purga, en cambio la eliminación de incrustaciones requiere métodos más elaborados.

Las incrustaciones más comunes en calderas son las formadas por el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice.

Las incrustaciones en las calderas son un grave problema porque si aumentan producen un sobrecalentamiento de los tubos como resultado se tiene una falla en la misma.

La existencia de capas de incrustaciones cubriendo las paredes de los tubos de las calderas disminuyen considerablemente la transferencia de calor debido a la capa aislante que forman, teniendo éstas una conductividad térmica muy baja la cual es en promedio el 5 % de la conductividad del acero, llegando a ser éstas pérdidas de calor de hasta un 30 % según el espesor de la capa. Otro problema derivado de las incrustaciones se encuentra en la formación de depósitos en las líneas de agua caliente y conexiones, disminuyendo el flujo y aumentando los costos de mantenimiento.

Tipo de incrustación	Apariencia	¿Cómo reconocerlas?
De carbonato de calcio.	Forma granular porosa.	Al colocarlas en contacto con algún ácido se observa la producción de burbujas. Fácilmente pulverizables.
De sulfato de calcio.	Cristales pequeños y quebradizos. Son más duras que las de sulfato y carbonato de calcio.	Solubles en ácido caliente sin producción de burbujas. No se pulverizan fácilmente.
Producidas por la Sílice	Más duras que las de sulfato y carbonato de calcio. Apariencia de porcelana	No se disuelven en ácido.

Tabla 2.2.- Tipos de incrustaciones y cómo identificarlas.

Fuente: Molina R. Horacio A. 1997

2.8.- SISTEMAS GENERALES DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PLANTAS GENERADORAS DE VAPOR.

Existen dos sistemas generales para el tratamiento del agua que se usa en la alimentación de calderas:

2.8.1.- Tratamiento interno:

Donde el agua es tratada dentro de las calderas con sustancias químicas o medios físicos. Este tratamiento se subdivide en dos métodos:

Método mecánico:

Implica el uso de vibradores, que son limpiadores que hacen vibrar al tubo con una acción similar a la de martilleo de modo que las incrustaciones se desprendan.

Método químico:

Implica la selección de una sustancia química (ácido) que reaccione con el tipo de incrustaciones duras son del tipo cálcico o magnésico. El ácido recomendado para eliminación de este tipo de incrustación es el ácido muriático. El ácido es peligroso en su uso y es recomendable que se tenga precaución en su uso.

2.8.2.- Tratamiento externo:

Donde el agua es tratada previamente en instalaciones aparte. El problema de la purificación externa del agua para la alimentación de calderas contra el tratamiento interno, ha sido causa de muchas controversias en el pasado; pero actualmente se acepta en que uno debe ser complemento del otro.

La purificación externa debe ser tan completa como lo justifiquen las condiciones de operación de las calderas y los factores económicos. Independientemente de la pureza del agua para la alimentación que proporciona la purificación externa, los tratamientos protectores se emplean casi universalmente como una seguridad contra las incrustaciones, corrosión y otras fuentes potenciales de dificultades.

2.9.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Las cualidades que presenta el agua proveniente de la tubería de abastecimiento local no son realmente óptimas para que sea introducida

directamente a las calderas sin un previo tratamiento. La existencia de sales de calcio, sales de magnesio y otros componentes que el agua comúnmente trae consigo originan grandes problemas. Tal es el caso de las incrustaciones y la corrosión del metal de las calderas o sus accesorios. La planta de tratamiento está constituida por un tanque almacenador de salmuera y otros componentes adicionales con la finalidad de obtener agua con dureza esencial a través de un proceso de intercambio iónico.

Distintos procedimientos para el tratamiento de agua.

- Purgadores.
- Desaireadores.
- Tratamiento a la Zeolita.
- Tratamiento de ósmosis inversa.
- Desmineralización.
- Filtración.

2.9.1.- Intercambio iónico.

Es un método por el que se sustituye iones de una disolución por otros iones con la misma carga. Por este método pueden extraerse productos químicos de una disolución que contiene grandes cantidades de otros productos. Esto se lleva cabo pasando a través de ciertos materiales sólidos porosos normalmente minerales del grupo zeolita o resinas sintéticas (plásticos) preparadas especialmente y que contienen moléculas grandes y complejas. Ciertos iones de la disolución sustituyen a iones o grupos de iones de la resina o zeolita de donde pueden ser extraídos o lavados.

Controlando la acidez, la fuerza y la composición de la disolución y la naturaleza de la resina, sin intercambiar en forma selectiva los iones de la disolución por los iones lábiles (intercambiables) de la resina.

La dureza del agua, debida a los iones de calcio y magnesio que forman compuestos insolubles, se eliminan por intercambio iónico. Se filtra el agua pasándola por una zeolita artificial como la permutita, el sodio de la zeolita sustituye a los iones indeseables del agua. Cuando la zeolita se satura con lo

iones metálicos, se lava con una disolución de sal común que vuelve a restituir los iones de sodio.

Proceso de intercambio iónico.

El agua dura es pasada a través de un lecho intercambiador (resina) al entrar en contacto el agua con el intercambiador el magnesio y el calcio quedan fijados en él, mientras se transfiere a la solución una cantidad equivalente de sodio. El intercambio tiene lugar rápidamente de tal manera que el agua dura puede ser ablandada casi en su totalidad sin depender de las variaciones de dureza.

La capacidad ablandadora de la resina finaliza cuando todos los iones han sido cambiados por iones de calcio y magnesio, sin embargo la etapa de ablandamiento se termina a una determinada dureza. Es importante que la capacidad total para intercambiar sodio por calcio y magnesio no ha sido agotada sino el valor del intercambio en operación ya ha sido utilizado.

Cuando la resina ha agotado su valor de intercambio en operación, surge la necesidad de un regenerado, operación en la cual los iones de sodio que son removidos durante el proceso de ablandamiento son restituidos tratando el lecho con una solución fuerte de cloruro de sodio (sal común) teniendo lugar la reacción química inversa en la cual son liberados y pasan a la solución de salmuera el calcio y el magnesio que se habían fijado al intercambiador, luego son arrastrados al drenaje y los iones de sodio son tomados de nuevo por la resina para volver a estar en su valor de intercambio de operación correspondiente.

Los factores que determinan el consumo de salmuera durante la regeneración varían según algunos puntos como:

- El tipo de material usado en el intercambio.
- El grado de dureza que posea el agua de abastecimiento proveniente de la tubería local.
- Ablandamiento y regeneración incompleta.
- La efectividad de la distribución de sal en el lecho ablandador.

2.9.2.-Equipo para ablandamiento por intercambio iónico.

El tanque de salmuera posee una tapa removible, está ubicado al mismo nivel del ablandador y trabaja a succión, posee una tubería de salida de concentración de salmuera conectada a la válvula múltiple o multiposicional. En su interior existen tres capas: un estrato inferior de soporte compuesto de grava para la protección de la tubería plástica, la cual tiene la finalidad de evitar de que lleguen a salir cristales de sal por ella, un estrato de sal intermedia y un estrato superior de salmuera.

Los tanques ablandadores se comunican con el tanque de almacenamiento de salmuera por medio de una tubería plástica, siendo la válvula multiposicional la que determinará la operación que se efectuó según la posición que tenga en la manilla. Las unidades suavizadoras deben operar de manera que nunca se necesite la regeneración de los dos tanques en el mismo momento.

El tamaño del tanque almacenador de salmuera varía según el fabricante pero generalmente debería ser igual en capacidad a un 70 % del tanque ablandador.

Una serie de válvulas de compuerta estratégicamente ubicadas permiten la entrada o no de agua dura o de salmuera al interior de la planta de tratamiento. Igualmente permite la salida o no de agua blanda hacia el calderín.

2.9.3.- Partes que componen el tanque ablandador.

Coraza:

Es el cuerpo constituido por un cilindro metálico colocado verticalmente con tapas abombadas. Su construcción es hecha con placas metálicas de espesor suficiente para resistir la presión a que es sometida.

Grava y arena:

En el fondo del tanque ablandador se colocan capas de grava graduada (gruesa abajo y fina arriba), seguida luego de una capa de arena la cual sirve como soporte al intercambiador (resina). Ver figura 2.1

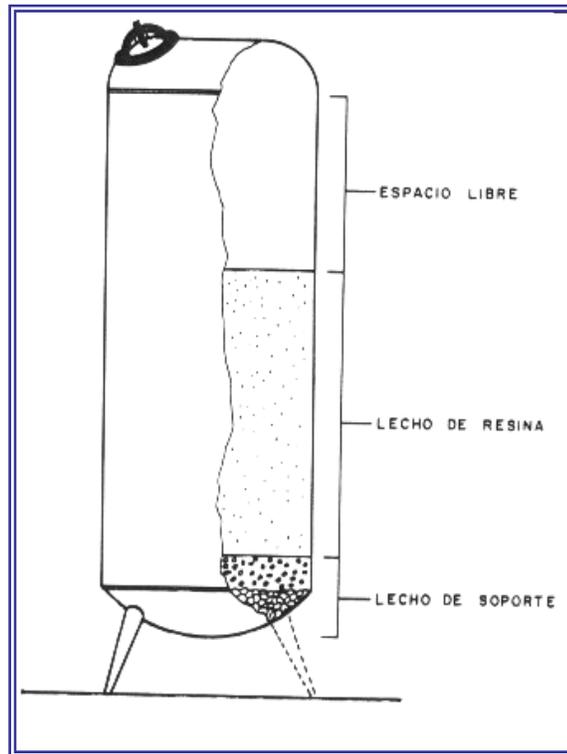


Figura 2.1.- Tanque ablandador.

Sistema colector:

Está ubicado en la parte inferior del tanque, debajo de las capas de grava y arena, cumpliendo con la función de extraer el agua blanda durante el ciclo de ablandamiento o servicio, distribuir el agua de retrolavado, eliminar la sal y efectuar los lavados. También juega importante papel en el momento de distribuir la salmuera para que entre en completo contacto con la resina intercambiadora.

Resina intercambiadora:

Está situada sobre la capa de grava y arena que descansa en la parte inferior del tanque ablandador. Encima de la resina intercambiadora existe un espacio libre el cual tiene la finalidad de absorber la expansión de la resina durante la operación de retrolavado. Ver figura 2.1

***Válvula Multiposicional:***

La operación de los tanques ablandadores se puede realizar a través de válvulas operadas automáticamente, semiautomáticamente o manual. Este tipo de válvula multiposicional determina la operación que se efectuará en los tanques ablandadores según la posición que tenga su manilla. Cada una de las tres diferentes posiciones que puede tomar esta manilla se encuentran especificadas a través de números y palabras, por ejemplo:

<i>Número indicado en el cuadrante</i>	<i>Palabra indicada en el cuadrante</i>	<i>Operación efectuada</i>
3	Run	Servicio
1	Wash	Retrolavado
2	Regen	Regenerado
2	Regen	Enjuague (Válvula de comunicación con el tanque de salmuera cerrada.)

Tabla 2.3.- Operaciones efectuadas en la planta de tratamiento de agua según la posición de la válvula multiposicional.

Fuente: Planta de tratamiento del Hospital de Niños J. M. de los Ríos.

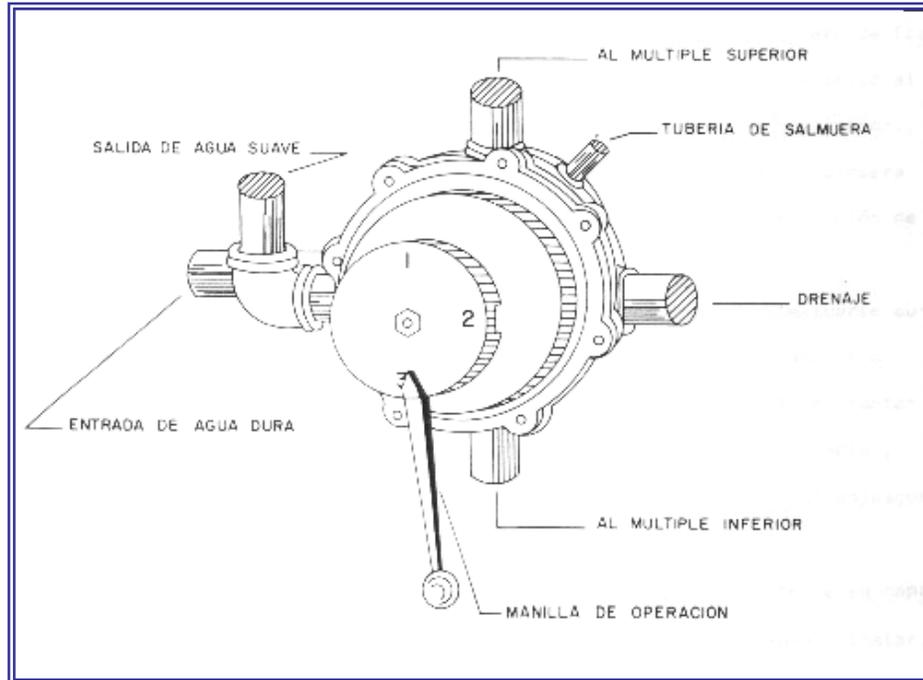


Figura 2.2.- Válvula de múltiple posición.

Colector de agua de lavado:

Este colector de agua está colocado en la parte superior del tanque ablandador, teniendo gran importancia en las operaciones de ablandamiento y lavado ya que introduce y distribuye el agua que entra y durante el retrolavado colecta el agua para dirigirla al drenaje.

2.9.4.- Operaciones que efectúa la planta de tratamiento

La planta de tratamiento realiza cuatro operaciones básicas que son:

➤ ***Retrolavado:***

La operación de retrolavado es la encargada de remover diferentes materiales y lodo que trae consigo el agua dura proveniente de la tubería principal de abastecimiento.

Al efectuarse un retrolavado en el tanque suavizador lo que se hace es introducir agua dura desde la parte inferior para que ésta pase a través del lecho de resina y arrastre todas las partículas extrañas para ser removidas y desechadas a través del drenaje.

La resina por la acción del retrolavado se expande en el espacio libre superior del tanque, un punto importante que se debe tomar en cuenta para realizar un retrolavado adecuado es la presión ya que si es muy alta puede ocurrir un arrastre de resina hacia el drenaje y si es muy baja no removerá adecuadamente las impurezas atrapadas.

➤ **Regenerado:**

Al agotar la resina su capacidad intercambiadora surge la necesidad de un regenerado, con la finalidad de llevarla a su capacidad original por medio de una solución fuerte de salmuera para eliminar del lecho el calcio y el magnesio capturados en la operación de servicio.

La combinación de salmuera y agua dura entra en el tanque ablandador por la parte superior pasa a través de la resina y sale por la parte inferior hacia la tubería de drenaje llevando consigo los iones de calcio y magnesio.

➤ **Enjuague:**

Una vez que se ha efectuado la regeneración de la resina es necesario desalojar la salmuera del interior del tanque ablandador a través de la operación de enjuague, en esta operación el agua dura entra por la parte superior del tanque pasa a través de la resina y capas de soporte para arrastrar la salmuera y llevarla hacia la tubería de drenaje.

➤ **Servicio:**

Una vez que el lecho ablandador ha sido regenerado la resina ya limpia ha vuelto a su capacidad inicial evaluada y está en condiciones de realizar la operación de servicio para efectuar la suavización del agua.

En esta fase el agua dura entra por la parte superior del tanque ablandador pasa a través de la resina realizándose el intercambio y sale por la parte inferior hacia el calderín para ser bombeada luego a la caldera.

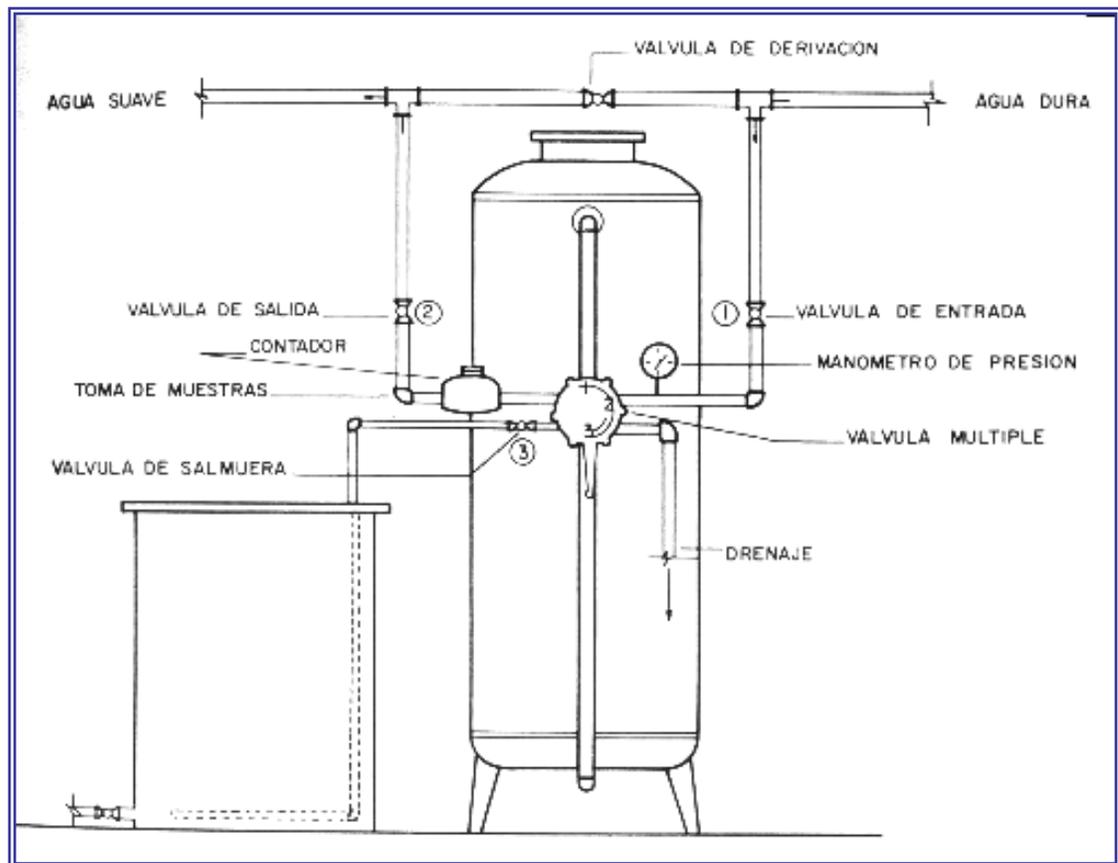


Figura 2.3.- Operación con válvula múltiple y suministro de salmuera por succión.

2.10.- PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA CALDERA PIROTUBULAR (TUBOS DE FUEGO O HUMOS).

2.10.1.- Manómetro principal:

Es el instrumento encargado de indicar la presión del vapor de agua que dicho equipo genera. Este instrumento mide la presión ubicada por encima de la atmosférica.

2.10.2.- Reguladores de presión o presostatos:

Son interruptores de gran importancia, ya que forman parte de los dispositivos de seguridad que toda caldera debe poseer.

Uno de los interruptores es llamado regulador de presión operacional, el cual posee una ampolla de mercurio activada por la presión de vapor de la caldera y ajustada a la presión de trabajo, según la tensión que se le dé a un

resorte a través de unos tornillos reguladores ubicados en la parte superior del cajetín del presostato. Este accesorio está conectado al circuito de encendido del control electrónico para encender o apagar la caldera según la demanda de vapor.

El otro tipo de presostato es el llamado regulador de alta presión y funciona solamente si el regulador operacional no trabaja adecuadamente o se daña, cortando la combustión cuando la presión del vapor de agua aumenta más allá de su límite.

Estos dos tipos de presostatos tienen la capacidad de dar la señal de encendido o apagado a la caldera.

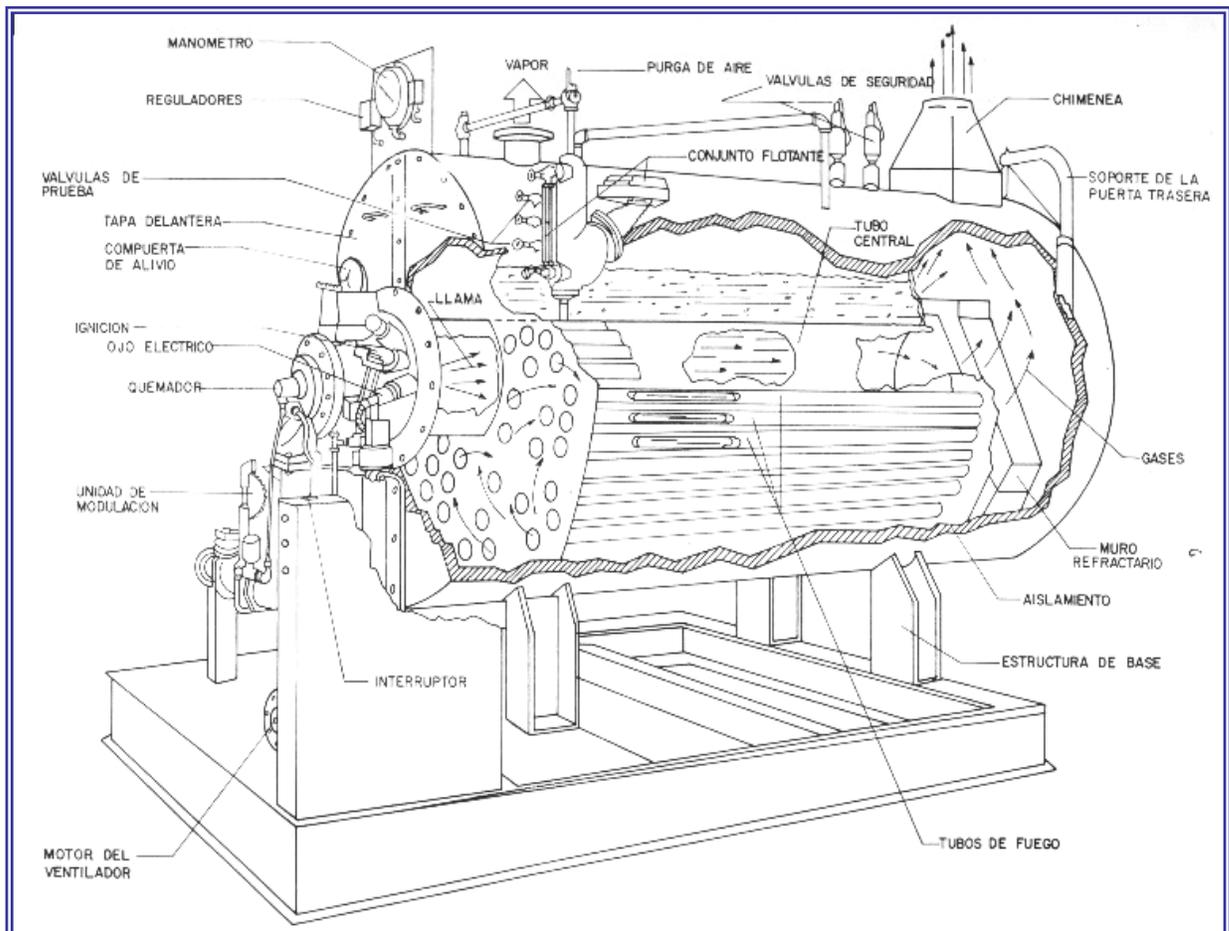


Figura 2.4.- Partes de un caldera de vapor pirotubular.

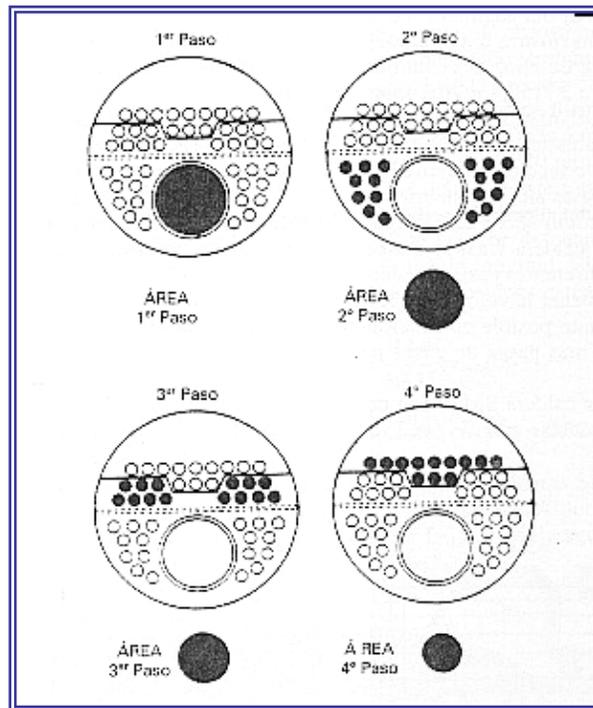


Figura 2.5.- Caldera de cuatro pasos de humos.

2.10.3.- Equipo de ignición:

Está formado por el electrodo de ignición, el cual posee un material aislante (porcelana), un transformador de alto voltaje y un cable que conecta el electrodo con el transformador. Todo el equipo trabaja de manera conjunta para producir la chispa encargada de iniciar la combustión de la llama piloto.

2.10.4.- Conjunto del quemador:

Está formado por una serie de partes esenciales:

2.10.4.1.- Motor del ventilador:

Encargado de producir o generar el movimiento que será transmitido por medio de correas al ventilador.

2.10.4.2.- Ventilador:

Unidad que provee aire en el volumen y la presión adecuada para la combustión.

2.10.4.3.- Compresor:

Este componente es utilizado solamente en el caso de quemadores que trabajan con gasoil como combustible y cumple con la función de generar aire a mayor presión para atomizar el combustible.

2.10.4.4- Bomba de combustible:

Si la caldera trabaja con un combustible, por ejemplo, gasoil deberá tener una bomba de combustible la cual proveerá la presión necesaria para llevar el combustible hasta las boquillas del quemador.

2.10.4.5.- Alabes:

Están localizados alrededor de la boquilla del quemador para hacer girar el aire que es introducido por el ventilador en el hogar según el sentido de las agujas del reloj, para generar más turbulencia y lograr una mayor transferencia de calor.

2.10.4.6.- Boquillas:

Son los dispositivos encargados de atomizar el combustible.

2.10.5.- Ojo eléctrico o unidad detectora de llama:

Está localizada estratégicamente en el quemador de manera que pueda detectar continuamente la existencia de llama. Según el tamaño de la caldera y el tipo de combustible empleado se usa una celda sensible a la luz o una celda sensible a los rayos ultravioletas. Si por alguna razón esta unidad detecta falla de llama interrumpe la corriente al control de combustión cortando el suministro de combustible al quemador.

2.10.6.- Unidad de modulación:

Es llamado comúnmente motor modutrol o modulador. Es el encargado de manejar automáticamente el alto fuego y el bajo fuego dependiendo de la cantidad de aire y combustible (mezcla) que deje introducir al hogar, a través del movimiento que le induce al mecanismo acoplado tanto a la válvula mariposa, ubicada en la tubería de alimentación de combustible del quemador, como a la aleta o registro de aire que permite su entrada para la combustión.

2.10.7.- Tubos de fuego o humos:

Es a través de ellos donde se realiza el proceso de transferencia de calor al agua por convección, ya que el calor producto de la combustión fluirá desde la superficie de los tubos hacia el fluido que les rodea (agua). El conjunto formado por la totalidad de estos tubos es llamado haz tubular de fuego.

2.10.8.- Hogar, Tubo de fuego central o Tubo principal de fuego:

Parte de la caldera donde se realiza la combustión.

2.10.9.- Anillo o muro refractario:

Tiene la función específica de evitar la radiación al quemador y darle forma a la llama.

2.10.10.- Cuerpo:

Compuesto por un cilindro herméticamente cerrado expuesto a la acción de los gases y cuyos elementos principales son:

2.10.10.1.- Cámara de agua:

Espacio ocupado por el agua hasta el nivel de trabajo, teniendo un volumen de alimentación dado por los niveles máximos y mínimos de operación.

2.10.10.2.- Cámara de vapor:

Espacio ocupado por el vapor, en algunas calderas este espacio es aumentado por medio de un domo o cúpula llamado también colector de vapor.

2.10.10.3.- Superficie de calefacción:

Aquellas áreas que se encuentran por un lado en contacto por el agua y por el otro lado con los gases de la combustión (superficies exteriores e interiores de los tubos).

2.10.10.4.- Superficie de vaporización:

Es la que separa en cualquier instante el espacio ocupado por el agua de lo ocupado por el vapor.

2.10.11.- Chimenea:

Lugar por donde serán expulsados los gases residuos de la combustión, para ser guiados hasta la atmósfera a través de un ducto.

2.10.12.- Bombas de agua de alimentación:

Las bombas de agua de alimentación de uso general pueden dividirse en los siguientes tipos: alternativas o recíprocas, rotativas y centrífugas, estas proveen la presión necesaria para llevar el agua a la caldera.

2.11.- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE UNA CALDERA PIROTUBULAR (TUBOS DE FUEGO O HUMOS).

2.11.1.- Válvulas de seguridad: las válvulas de seguridad tendrán la capacidad de desahogar todo el exceso de vapor que pueda ser producido por la caldera, evitando que la presión logre aumentar más de 6 % sobre la presión máxima admisible de trabajo.

Es importante considerar que la válvula de seguridad debe estar colocada sin ningún tipo de estrangulamiento entre la caldera y la válvula, buscando la manera de que la descarga se haga libremente a la atmósfera. Cuando sea necesaria la instalación de tuberías para guiar el exceso de vapor producido fuera de la sala de calderas, deberá buscarse la manera de evitar la colocación de una gran cantidad de codos que limiten su salida fácilmente al exterior.

Al existir dos válvulas de seguridad, la segunda se regulará a una presión máxima de 3 % más alta que la primera válvula y solamente entrará en acción cuando la primera válvula no libere la presión acumulada a una velocidad tal que evite la elevación de la presión.

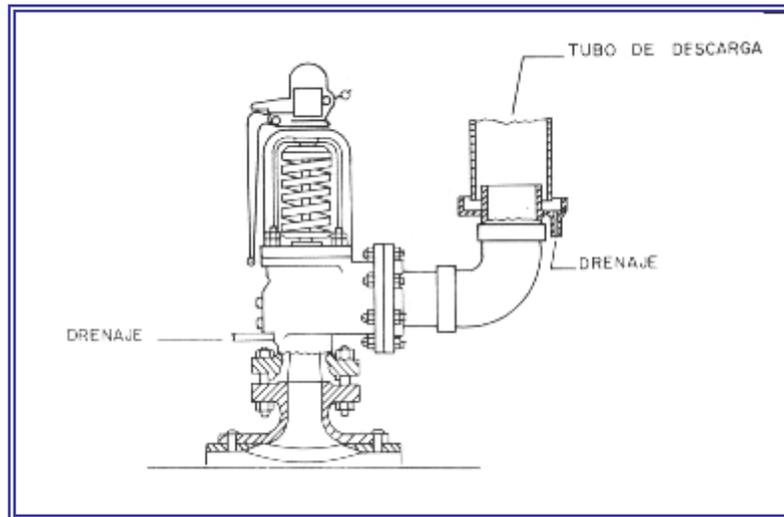


Figura 2.6.- Válvula de seguridad.

2.11.2.- Indicador de nivel:

Toda caldera debe estar provista de por lo menos dos aparatos independientes que permitan conocer el nivel de agua.

2.11.3.- Tapón fusible:

Estos tapones son de cobre perforado y sellado, en operación normal el tapón fusible se encuentra en contacto con el agua interior de la caldera, pero si por alguna razón el nivel logra bajar se pondrá en contacto el tapón fusible con el vapor fundiéndose este por tener un punto de fusión bajo para crear así una señal de alerta que se evidenciará al escapar vapor a través de él informando al operario de la situación peligrosa y el mal funcionamiento de algún sistema. Generalmente los tapones fusibles son instalados 4 cm. por arriba de la última hilera de tubos de fuego y roscados a las paredes de la caldera para facilitar su cambio.

2.12.- SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.

El sistema de distribución de vapor es aquel que está formado por la red de tuberías principales y secundarias que llevan el vapor hasta los equipos que necesitan de él y por todos los demás accesorios para el suministro.

Podría decirse también que está constituido por todos los equipos y las instalaciones que sirven para transportar el vapor desde la planta generadora hasta los lugares de utilización y por las tuberías de retorno que recuperan todo el condensado para volver a ser utilizado en el proceso.

2.12.1.- Componentes del sistema de distribución de vapor.

Este sistema lo comprenden la red de tuberías principales y secundarias que constituyen el pasaje cerrado para el suministro de vapor e igualmente forman parte de él los demás componentes como lo son los anclajes, juntas de expansión, aislantes térmicos, filtros, trampas y otros, los cuales en su totalidad conforman el sistema de distribución de vapor.

2.12.1.1.- Red de tuberías.

Esta red la forman las tuberías principales las cuales son todas aquellas que se derivan del colector de vapor hacia los diferentes servicios y tuberías secundarias las cuales son las ramificaciones de las tuberías principales. Las tuberías serán las encargadas de guiar hasta el tanque de almacenamiento de agua blanda (calderín) el condensado producto del enfriamiento del vapor, para colaborar con el factor económico, ya que evitará un consumo exagerado de agua en el sistema de generación de vapor.

2.12.1.2.- Soportes.

Se caracterizan por mantener los puntos deseados de la tubería en posiciones fijas según desplazamientos verticales pero permitiendo el movimiento de expansión y contracción libre en dirección opuesta desde el punto anclado, son colocados y fijados a los miembros estructurales de tal

manera que resistan las fuerzas y movimiento bajo todas las condiciones de servicio.

2.12.1.3.- Juntas de expansión.

Son accesorios colocados en las tuberías, utilizadas para absorber la dilatación de las líneas de vapor con la finalidad de evitar daños por contracciones o dilataciones excesivas ocurridas en el material por los cambios de temperatura. Las juntas de expansión deben ser correctamente montadas de tal forma que solo se muevan las partes diseñadas para ello. Es importante tener en cuenta que siempre que se usen anclajes en la red de distribución de vapor deben utilizarse juntas de expansión que permitan la dilatación y contracción de la tubería y también debe tenerse en cuenta que la junta y la tubería deben estar alineadas de tal forma que la expansión o la contracción tengan lugar en la dirección del eje de la junta.

2.12.1.3.1.- Tipos de junta de expansión:

Juntas de expansión tipo fuelle:

Este tipo de juntas poseen un miembro en forma de fuelle de cobre o acero que permite la expansión. En este tipo de juntas no existe la posibilidad de fuga, excepto cuando hay rotura de fuelle.

Juntas de expansión deslizante:

Están formadas por dos miembros cilíndricos uno anclado y otro deslizante en su interior. Estas juntas pueden ser del tipo sencillas las cuales permiten la expansión de la tubería en un solo sentido, o de un tipo mucho más común el cual posee a cada lado del miembro anclado un cilindro deslizante que permite la expansión de línea en ambos sentidos.

2.12.1.4.- Aislante térmico

Los materiales utilizados como aislantes térmicos ofrecen una elevada resistencia al paso del calor, este constituye el revestimiento exterior que cubre las tuberías de distribución y cuya función principal es reducir y retardar las pérdidas de calor a través de las paredes de las tuberías. Si las tuberías no son cubiertas con un aislante térmico de un determinado espesor

según el diámetro de la tubería, la pérdida de calor ocasionaría gastos de combustible. Los materiales que son usados para el aislamiento son: asbesto, amianto y lana de vidrio. La decisión para seleccionar el tipo de aislante se toma en base a su durabilidad y ahorro de combustible que pueda ocasionar.

Espesores recomendables para aislantes según el diámetro de la tubería de vapor			
Diámetro de la tubería de vapor en pulgadas	Espesor del aislante en pulgadas según la temperatura del vapor		
	300 °F (148,89 °C)	400 °F (204,44 °C)	500 °F (260 °C)
1	1	1	1
1½	1	1	1½
2	1	1½	1½
2½	1½	1½	1½
3	1½	1½	1½
4	1½	1½	1½
6	1½	1½	2
8	1½	2	2
10	2	2	2

Tabla 2.4.- Espesores recomendables para aislantes según el diámetro de la tubería de vapor

Fuente: Moreno Eduardo R. Detalle Típicos para Instalaciones Industriales.

Las partes irregulares de las tuberías de vapor tales como: uniones, codos, bridas y otros es recomendable no dejarlas sin un recubrimiento aislante, usándose entonces cemento aislante o piezas prefabricadas de silicato de calcio que se moldea directamente sobre la tubería.

2.12.1.5.- Filtros.

Los filtros son accesorios encargados de retener las suciedades, óxidos y otras impurezas que puedan existir en las tuberías las cuales pueden crear problemas a los distintos equipos que requieren de vapor para realizar su función.

La forma más sencilla de evitar que estas impurezas puedan crear problemas es a través de la colocación de filtros en las líneas de vapor para eliminarlas a través de la filtración. Estos accesorios son necesarios en tuberías de vapor, aire y gases como en otras que transportan líquidos de varios tipos.

El elemento primordial de un filtro es una malla de alambre la cual es generalmente una malla metálica o metal perforado que está introducida en el interior de un cuerpo metálico permitiendo que el fluido (vapor) que entre en un lado salga por la otra parte después de pasar a través de los agujeros o la malla que lo constituye.

La malla filtrante de alambre es mantenida en su lugar a través de un tapón roscado que a su vez facilita las operaciones de limpieza y mantenimiento. Las perforaciones de las mallas de alambre utilizadas para el filtrado del vapor varían entre 0,5 y 0,8 mm., siendo estas las más recomendadas.

2.12.1.6.- Trampas de vapor.

Las trampas de vapor actúan como una válvula automática encargada de interrumpir el paso del vapor eliminando el aire y otros gases que pueden existir en la tubería para dejar libre el paso al condensado. Estos gases se originan cuando está en funcionamiento la caldera y se desarrolla el proceso de ebullición en el agua para la formación de vapor, los cuales son gases no condensables como dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO), producto esto de la acción química que tiene lugar en la caldera.

En los sistemas de vapor es recomendable usar las trampas de la siguiente manera:

- Al final de las tuberías principales de entrega de vapor.
- Antes de las juntas de expansión y de la parte baja de todas las tuberías de elevación.
- En los puntos de nivel inferior de una línea horizontal.
- En los puntos intermedios de las tuberías horizontales muy largas a distancias aproximadas de 30 mts.

2.12.1.6.1-Trampas de vapor mecánicas:

Su principio de funcionamiento está basado en el cambio de estado que experimenta el fluido al llegar a la trampa (agua y vapor). Al entrar vapor cierran y cuando se trata de condensado abren.

Trampas de vapor mecánicas de balde invertido.

El agua alojada en el interior de la trampa mantendrá un sello alrededor del balde. El vapor que logre entrar a la trampa hará flotar el balde cerrando la válvula por lo que el condensado se acumulará en la entrada mientras los gases se escapan por el orificio permitiendo bajar al balde y abriendo la válvula para descargar el condensado.

Ventajas:

- Resistente a los golpes de ariete.
- Pueden ser usadas en presiones de trabajo altas.

Desventajas:

- Cuando varían las cargas y presiones posee baja sensibilidad.
- Deberá existir agua en el interior de la trampa para crear un sello y evitar la descarga continua de vapor.
- No logra descargar condensado tan rápidamente como se forma.

Trampas de vapor mecánicas de balde abierto:

El balde ubicado en la parte interior de la trampa flotará por el condensado que entre a las mismas sellándola. Al rebozarse el condensado en el balde este se hundirá para abrirla de nuevo. La presión existente obligará al condensado a subir por el tubo central haciendo flotar de nuevo el balde y repetir así el ciclo.

Ventaja:

- Buena resistencia a los golpes de ariete.

Desventajas:

- Dificiles de instalar debido a las dimensiones y su peso.
- La descarga intermitente puede retardar la eliminación del condensado.

Trampas de vapor mecánicas de flotador y termostática:

La trampa tendrá una ventila auxiliar lugar este por donde se descargará el aire que entre, un flotador alojado en el interior mantendrá la válvula cerrada para evitar la salida del condensado formado.

Cuando el condensado llegue a determinado nivel la válvula abrirá por el efecto del flotante para descargar el condensado formado.

El nivel del condensado establecido en la trampa forma un sello efectivo para el vapor.

Ventajas:

- Gran capacidad de ventilación a través de la ventila regulable.
- Descarga condensado en forma continua.

Desventajas:

- No deben ser utilizadas en equipos en los que el vapor recalentado puede llegar a la trampa.
- Sensible al golpe de ariete.

2.12.1.6.2.- Trampas de vapor termostáticas:

Trabajan según los cambios de temperatura que tiene el líquido que fluye a la trampa (condensado) abren a la temperatura más baja del condensado y cierran a la temperatura cercana a la del vapor.

Trampas de vapor termostáticas de presión equilibrada:

En el interior de la trampa existe un elemento bastante sensible a los cambios de temperatura, al entrar vapor a la trampa el elemento se expande y la cierra, en cambio cuando el condensado que rodea a dicho elemento

sensible se enfría aproximadamente entre unos 10 °C y 30 °C por debajo a la temperatura del vapor, la trampa abrirá para descargarlo.

Ventajas:

- Son trampas autoregulables.
- Gran capacidad de descarga con pequeña dimensión.
- La misma dimensión de válvula puede ser utilizada para todas las presiones dentro de la gama de operación.

Desventajas:

- No son apropiadas para vapor sobrecalentado.
- Resistencia ilimitada al golpe de ariete.
- No son apropiadas para aquellos sistemas donde se requiere que el condensado sea retirado a medida que se forma.

Trampas de vapor termostáticas de expansión líquida:

El aire y el condensado se descargan hasta que el condensado alcanza una temperatura predeterminada por debajo de los 100 °C. El elemento termostático lleno de líquido cierra la válvula para mantener la temperatura prefijada de descarga.

Ventajas:

- Para poder descargar necesita una baja temperatura eliminando el vapor instantáneo en el lugar de trabajo.
- Soporta golpe de ariete.

Desventajas:

- Bastante limitadas a ser usadas en tanques de almacenamiento y algunas líneas donde el condensado puede ser retenido y enfriado antes de ser descargado.
- El condensado por su efecto corrosivo puede llegar a atacar el elemento termostático.

Trampas de vapor termostáticas bimetálicas:

El aire y el condensado se descargan desde el primer momento hasta que el condensado alcanza una temperatura predeterminada, el elemento bimetálico cierra entonces la válvula para mantener la temperatura prefijada de descarga.

Ventajas:

- Alta sensibilidad cuando se regulan para descargar a bajas temperaturas.
- La baja temperatura de descarga evita vapor instantáneo en los lugares de trabajo.
- Resistencia al golpe de ariete.

Desventajas:

- No son autorregulables.
- Limitadas aplicaciones ya que serán usadas cuando se necesite que el condensado sea retenido y enfriado antes de ser descargado.
- Las características del metal pueden llegar a variar con el uso.

2.12.1.6.3.-Trampas de vapor termodinámicas:

Operan por la utilización de las diferencias en la energía termodinámica obtenida del vapor y condensado caliente.

Trampa de vapor termodinámica de impulso:

Dos orificios en serie crean una diferencia de presión para cerrar la válvula, el condensado frío no crea suficiente presión para cerrar la válvula y puede fluir libremente. Cuando la temperatura llega a 30 °F por debajo del vapor se crea suficiente presión para cerrar la trampa y el condensado caliente es retenido hasta que su temperatura descienda. El vapor podrá ser descargado a través del orificio de sangría.

Ventajas:

- Usualmente son de acero inoxidable.
- Pequeñas y livianas.
- Buena resistencia al golpe de ariete y el vapor recalentado.

Desventajas:

- Pueden llegar a atascarse las piezas de la válvula.
- Los orificios de sangría pueden llegar a desperdiciar vapor con cargas livianas.
- No deben usarse en equipos con contrapresión superior al 30 % de la presión de entrada a la trampa.

Trampa de vapor termodinámica de discos:

El condensado y el aire levantan el disco y fluyen libremente, el vapor en cambio aumenta la velocidad debajo del disco produciendo un vacío que lo cierra de golpe. Cuando el vapor se enfría el disco se abre nuevamente para descargar el condensado.

Ventajas:

- Resistente a la corrosión.
- Resistente a golpe de ariete.
- Opera a diferentes presiones y cargas.

Desventajas:

- No son apropiadas para presiones por debajo de 10 psi.
- Algunos modelos están limitados a contrapresiones de 50 % de la presión de entrada.



3.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.1.- DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL “MIGUEL PÉREZ CARREÑO”.

El Sistema de Generación de Vapor del Hospital consta de 2 calderas las cuales tienen los siguientes datos de placa:

Caldera Marca Distral.	Caldera Marca Continental.
Número de serie A1780. Modelo 3WBS. Superficie de calentamiento 1.543 ft ² . Capacidad 300 HP. Máxima presión admisible de trabajo 150 Psig. Año de construcción 1981.	Calderas de vapor automáticas. Capacidad 4.694 kg./hr. Presión máxima 150 Psig. Temperatura máxima 185 °C. Superficie de calefacción 116 mt ² . Año de fabricación 1.979. Número de serial 472 – 2 – 300 C. Registro nacional 5605.

La caldera marca Continental es de 300 HP ya que el último número de serial pertenece a la capacidad de caldera.

Al empezar el estudio la **Caldera marca Distral (Power Master)** no estaba en funcionamiento, lo cual facilitó su inspección pues para realizar dicha actividad la caldera debe estar fría.

La **Caldera marca Continental** en el comienzo del estudio es la que estaba dotando de vapor a los servicios del hospital como lo es lavandería, cocina, central de suministro, áreas quirúrgicas, laboratorios y fórmulas lácteas.



Figura 3.1.- Caldera (1) Distral y Caldera (2) Continental.

3.1.1.-Inspección de la caldera Distral:

Durante la inspección se pudo observar que posee un hogar o túnel corrugado, el cual no se le observó deformaciones.

El **hogar ondulado o corrugado** ofrece las siguientes ventajas:

- Las ondulaciones arriostan el hogar de forma que no se aplaste tan fácilmente bajo la acción de la presión interior como uno similar del mismo espesor pero liso y mucho menos que uno plano.
- El hogar ondulado permite soportar más dilatación y contracción como efecto de la acción acordeón de las ondulaciones.
- Hay un ligero incremento en la transmisión térmica respecto a un hogar plano del mismo diámetro y longitud.



Figura 3.2.- Hogar o túnel corrugado.

Los tubos no se encontraron dentro de la caldera. Se observó que había residuos de óxido en el interior de la caldera, lo que indica que los tubos se encontraban flojos (ver figura 3.3 y 3.4). Al existir sólidos estos tienden a decantar hacia los tubos inferiores.



Figura 3.3.- Placa donde se puede observar la ausencia de los tubos.



Figura 3.4.- Tubos en mal estado.



En cuanto a los casquillos de los tubos se pudo notar que la caldera no había sido anillada anteriormente.

A esta caldera es muy incómodo hacerle el mantenimiento porque en la tapa posterior tiene un diseño de pared de agua, es decir, la tapa es fija lo cual hace que el técnico tenga que entrar a la caldera por medio de unos compartimientos para poder llevar a cabo el mantenimiento. Ver figura 3.5



Figura 3.5
Tapa fija
posterior.

Al tablero le faltaban los controles electrónicos, apreciando que hay que realizarle un nuevo cableado.

En la estructura del quemador (cañón de combustión) faltaban los electrodos de ignición, boquillas, etc., estaban ausentes además, diferentes piezas del quemador. Ver figura 3.6



Figura 3.6
Estructura
del
quemador.



En la columna Mc Donnell se observaron incrustaciones.



Figura 3.7.- Incrustaciones en la columna Mc Donnell.

La válvula de seguridad no se pudo diagnosticar, es necesario hacerles una prueba.

En la placa no se visualiza cristalización, pero se puede hacer una prueba empírica para descartar que la placa esté cristalizada.

3.1.2.-Inspección de la caldera Continental:

No tiene el vidrio pirex que va en la tapa posterior de la caldera. (Ver figura 3.8). En los registros de mano se observaron gotas lo cual implica que pudo haber incrustaciones o las empaaduras estaban en mal estado.



**Figura 3.8
Tapa
posterior.**



Aparentaba buena combustión porque se observó fuegos con llamas azules y en la salida de los gases residuos de la combustión se observó el humo como un resplandor.

Presenta incrustaciones en la columna Mc Donell por fuga de vapor.

La realización del mantenimiento presenta mas comodidad respecto a la anterior caldera ya que la tapa posterior no es fija.



Figura 3.9.- Tapa movable.

Se le estaba suministrando agua sin ser tratada, lo cual va a producir incrustaciones en corto tiempo.

Se pudo observar que estaba calibrada porque el Presostato marca 90 psi. y en el manómetro se pudo leer 90 psig. (estaba por debajo de la máxima presión de trabajo).

En la parte inferior de la tapa posterior se observaron residuos de óxido lo que indica que los tubos están flojos y hay incrustaciones.



Figura 3.10.- Óxido en la tapa posterior.

Se pudo constatar con la compañía que le hace el mantenimiento (Supli Vapor) que el agua suministrada a la caldera, no estaba siendo filtrada, ni se le estaba colocando el correspondiente químico.

3.1.3.-Servicios que utilizan vapor en el hospital.

Cocina: Está conformada por 4 Marmitas de 30 Galones, 4 Marmitas de 120 Galones y 3 Vaporizadores.



Figura 3.11.- Marmitas.



Figura 3.12.- Vaporizadores.



Lavandería: En ella se encuentran 4 Lavadoras (funciona solo una de ellas), 9 Planchas (5 grandes y 4 pequeñas, ninguna sirve), también hay 2 tren de secado que no funcionan.

4 Secadoras (2 grandes y 2 pequeñas, funcionan 1 grande y una pequeña).



Figura 3.13.- Lavadora.



Figura 3.14.- Tren de secado.



Figura 3.15.- Secadoras.



Figura 3.16.- Planchas.

Fórmulas Lácteas: Hay 1 Autoclave, 1 Marmita y 1 Baño de María (no sirve).

Central de Suministro: La conforman 7 Autoclaves (funcionan 2).

Área Quirúrgica: Tiene 3 Autoclaves (funciona 1).

Laboratorio: En este servicio funcionan 2 Autoclaves.



Figura 3.17.- Autoclaves.



Figura 3.18.- Autoclave.

En el quirófano el vapor es utilizado para esterilizar ropas e instrumentos quirúrgicos, el quirófano es el departamento que tiene la mayor prioridad en cuanto a requerimientos de vapor.

El equipo utilizado para la esterilización es conocido como autoclave estos son dispositivos que sirven para esterilizar objetos y sustancias situados en su interior, por medio de vapor y altas temperaturas.

Los artículos que se esterilizan en los autoclaves pueden clasificarse en cuatro tipos: instrumentos quirúrgicos, ropa, medicamentos líquidos como aceites, vaselinas y objetos de hule o plástico.

Existen diversos modelos y tamaños de autoclaves pero todos ellos pueden reducirse desde el punto de vista del medio de esterilización que se emplea a tres tipos: de vapor a presión (con o sin sistema de prevacío), el de aire caliente, y de gas (óxido de etileno).

El más recomendable por su rapidez y bajo costo es el de vapor, útil para todo el trabajo de ropa e instrumentos; sin embargo no es recomendable para líquidos, grasas u otros materiales. El esterilizador de vapor trabaja



alrededor de 240 °F (116 °C) y el tiempo de esterilización está de 10 a 45 minutos, de este tipo son los que se encuentran en el Hospital.

En la lavandería del Hospital “Miguel Pérez Carreño” el vapor es utilizado para el lavado y secado de distintas clases de ropa.

El departamento de lavandería dentro de un hospital es el encargado del lavado, planchado y suministro de ropa limpia tanto a los enfermos como al personal que labora dentro del centro hospitalario, está relacionado con la sala de máquinas tomando en cuenta que la lavandería realiza un gasto muy importante de agua fría, caliente y por supuesto de vapor.

Considerando lo anterior el departamento de lavandería debe localizarse en la zona de servicios generales del hospital, procurando que quede lo más cerca de la casa de máquinas o sala de generadores de vapor.

En el Hospital este departamento se usa para algunos pacientes que llevan un largo tiempo hospitalizados, también presta servicio al área quirúrgica, retén y otros servicios. Hay algunos hospitales que utilizan el servicio de lavandería del Hospital “Miguel Pérez Carreño” como el hospital Elías Toro, José Gregorio Hernández entre otros.

En la cocina del hospital el vapor es utilizado para la cocción de alimentos tales como verduras, granos, sopas, etc.

Por todo esto el sistema de generación de vapor debe estar en perfectas condiciones de trabajo y poder suministrar el consumo mínimo y máximo del hospital en cuanto a requerimientos de vapor

Actualmente este sistema se encuentra deteriorado debido a la falta de mantenimiento preventivo y correctivo. También este deterioro es debido a la falta de tratamiento del agua que entra a la caldera ya que el agua trae consigo sales minerales que generan incrustaciones y estas inciden directamente en la vida útil de las calderas.

La planta de tratamiento se encuentra en buenas condiciones pero los operadores no realizan las operaciones de mantenimiento que la planta



necesita y hacen conexiones con un tanque interno para introducirle agua sin tratar. Ver figuras 3.19, 3.20, 3.21, 3.22.



Figura 3.19.-Bomba del tanque.



Figura 3.20.- Manguera.



Figura 3.21.- Manguera.



Figura 3.22.- Mangueras en tanque de condensado.

Por no suministrarle a la caldera agua tratada ésta tiene fugas de agua considerables, tiene grietas que las arreglan con soldadura, algunos tubos están corroídos y algunos los han condensado, es decir taponado, pero aproximadamente a los 20 días de ser arreglada sigue con las mismas fugas y hasta aumentan. Ver figuras 3.23 y 3.24



Figura 3.23.- Fuga de agua.



Figura 3.24.- Fuga de agua.



Figura 3.25.- Grieta en la placa.



Figura 3.26.- Soldadura.

3.2.- REPARACIÓN DE CALDERA POWER MASTER (DISTRAL).

Mientras la caldera Continental estaba a punto de quedar fuera de servicio, el hospital se propuso arreglar la caldera Power Master (Distral).

Se contrató a la empresa Supli Vapor para realizar las reparaciones pertinentes.

Lo primero que se hizo fue realizarle un ensayo a la placa para saber si se encontraba cristalizada.



3.3.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

El término pruebas no destructivas (NDT) se utiliza para describir el método de prueba o material de inspección para determinar la solidez (o falta de defectos) para que no afecte física o químicamente al material. Las pruebas no destructivas pueden que no afecte física o químicamente al material. Las pruebas no destructivas pueden implicar los métodos siguientes: examen visual, prueba hidrostática o de fugas radiográficas, partículas magnéticas, tintes penetrantes, ultrasonidos y corrientes parásitas. También están siendo desarrolladas emisiones acústicas y pruebas holográficas, en ambos casos requiriendo la colaboración de técnicas informáticas para registrar señales y anotar cambios en las mismas de lecturas previas.

El propósito de las pruebas no destructivas (NDT) es detectar faltas de tipo incipiente, como grietas, inclusiones, vacíos, porosidad, falta de fusión en soldaduras, laminaciones, faltas de penetración, cortes no visibles, contracciones, mermas y defectos similares de modo que se puedan efectuar reparaciones antes de que los defectos puedan producir un fallo serio en el servicio.

Los requisitos exactos están detallados en el código ASME concretamente en la sección V.

El ensayo no destructivo que se le aplicó a la placa fue el de líquidos (tintes) penetrantes.

3.4.- LÍQUIDOS PENETRANTES.

Este método de prueba se realiza con un tinte penetrante que contiene un tinte visible normalmente rojo. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas rojas o puntos contra el fondo blanco del revelador. Es principalmente un indicador de defectos superficiales y se utiliza como sigue:



se aplica un tinte penetrante a la pieza en baño o inmersión con brocha o spray y se le deja situarse durante algún tiempo. Después del tiempo apropiado de penetración el exceso de líquido penetrante se elimina de la superficie y se aplica un revelador. El líquido penetrante queda atrapado en el defecto y se lleva a la superficie por la acción del revelador. Las grietas se detectan al notarse en contraste entre el color blanco del revelador y el rojo del líquido penetrante.

Las ventajas del método de tinte penetrante son las siguientes: es de suministro rápido en el sistema de inspección de puntos durante una parada menor por períodos de cierre, el costo inicial de la prueba es relativamente bajo. Una superficie perfectamente blanca o tipo sábana indica que hay ausencia de grietas u otros defectos que estén abiertos a la superficie. Las desventajas son que no es práctico sobre superficies muy bastas o rugosas y que el color de contraste es limitado sobre algunas superficies. También que sólo detecta defectos abiertos a la superficie.

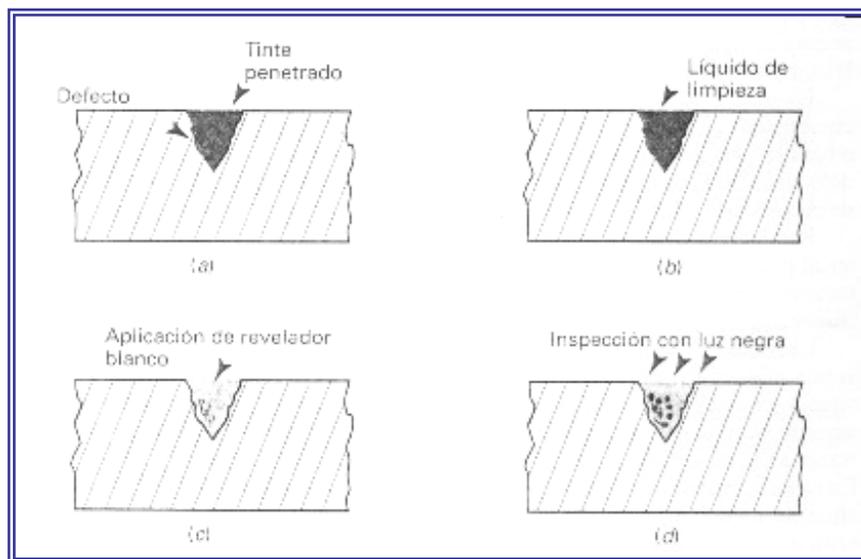


Figura 3.27.- La inspección por líquido penetrante implica cuatro pasos para revelar un defecto: a) se aplica un tinte rojo y se le permite penetrar en un defecto sospechado; b) el exceso de tinte se elimina de la superficie; c) se aplica un revelador blanco; d) la inspección con luz negra muestra en rojo la situación del defecto.



Figura 3.28.- Tinte, revelador.



Figura 3.29.- Interior de la caldera en la prueba.



Figura 3.30.- Placa con ensayo no destructivo.



Figura 3.31.- Líquido penetrante.

Durante el ensayo no se observó ninguna falla que afecte la placa, es decir, que la placa estaba en buen estado.

3.5.- COLOCACIÓN DE TUBOS.

Se usan tres métodos normales de fabricación de tubos de calderas:

- 1.- El tubo sin soldadura (sin costura) que se perfora en caliente y se estira a su tamaño.



2.- El tubo soldado a solape (en forja) que consiste en una tira metálica (estirada) curvada a la forma tubular con el cierre longitudinal por solape. Se le aplica calor y la junta queda soldada de forja.

3.- El tubo soldado a tope por resistencia eléctrica se forma como el segundo tipo pero, como su nombre implica, la junta se suelda a tope (no a solape).

Se considera una buena práctica por algunos colocar la soldadura de los tubos soldados fuera de la acción radiante de la llama o fuego del hogar.

El diámetro de los tubos de caldera siempre se refiere al diámetro nominal exterior mientras que el diámetro de tuberías se refiere siempre al diámetro nominal interior.

3.5.1.- El **material de los tubos** de la caldera es ASTM 178 – A con costura es decir es un acero al carbono soldado por resistencia eléctrica.

Los números SA tales como el SA – 178 A de los tubos de caldera de acero al carbono soldados por resistencia eléctrica, se usan en las distintas secciones del código ASME de calderas para mostrar la especificación admisible del material para diferentes componentes de una caldera o recipiente a presión. La lista de materiales admisibles es bastante amplia y crece actualmente a medida que las laminaciones de acero y la metalurgia desarrollan nuevos materiales que encuentran aprobación por los comités de admisión y aprobación. La sección II ofrece un listado de los requerimientos específicos para materiales aprobados en la sección I.

Esto incluye ahora tensiones admisibles para los materiales SA listados según la temperatura de trabajo.



Figura 3.32.- Tubos de la caldera.



Figura 3.33.- Colocación de tubos.

Después que se colocaron los tubos se procedió a pintar la caldera con pintura de aluminio de altas temperaturas (200 – 1.300 °F), (93,3 – 704,4 °C).

3.6.- EXPANDIDO DE TUBOS.

Prácticamente todos los tubos de caldera tienen los extremos expandidos contra el orificio de la chapa (placa). Esto se hace para conseguir estanqueidad del tubo contra fugas y darle un agarre firme en el orificio de forma que el tubo pueda tener una sujeción definida.

Las calderas de tubos de humos tienen los finales de los tubos expuestos al calor y productos de combustión y así, los finales de los tubos se quemarían rápidamente si estuvieran achaflanados. En estas calderas los finales de los tubos se retraen en burlete o retocan hacia atrás después de haberlos rebordeados para protegerlos contra el recalentamiento, aunque el apoyo en burlete (o esfera) no debe incrementar la fuerza de fijación del tubo apreciablemente.

El rebordeado incrementa el poder de fijación de los tubos y elimina en un elevado grado la erosión o quemado de los terminales de tubo.

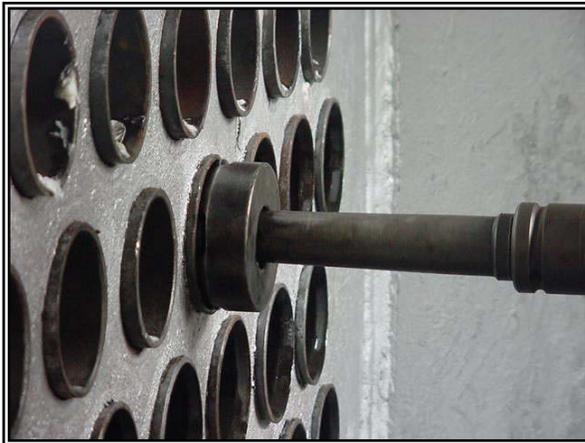


Figura 3.34.- Expansor.



Figura 3.35.- Expandido.

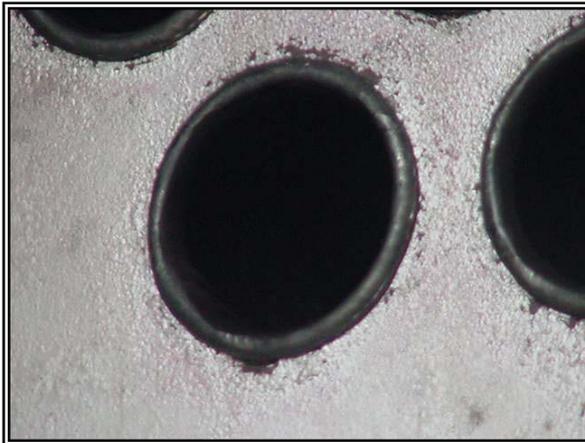


Figura 3.36.- Rebordeado.

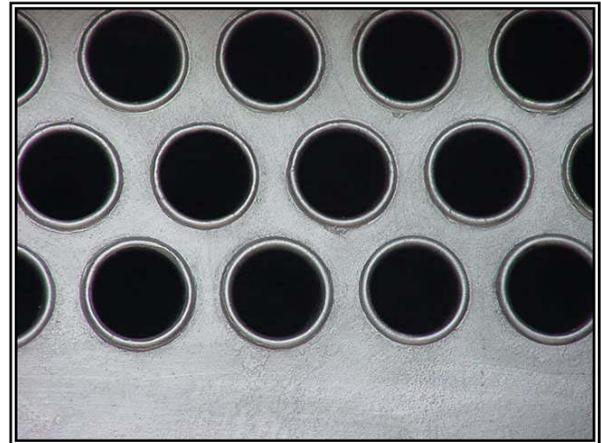


Figura 3.37.- Rebordeado.

Luego de realizar el rebordeado se pintó toda la caldera y sus accesorios.

3.7.- PRUEBA HIDROSTÁTICA.

Se exige una prueba hidrostática después de que la caldera esté terminada, con agua a temperatura no menor de 70 °F (21,1 °C) para evitar condensaciones. Esta prueba tiene como virtud probar la hermeticidad (estanqueidad) de las partes o piezas de la caldera. La presión se aplicará gradualmente hasta 1,5 veces la máxima presión admisible marcada o



estampada sobre la caldera porque una presión mayor puede dañar la chapa de la caldera produciendo una deformación permanente. El control de la presión debe ser tal que la prueba de presión nunca exceda más del 6 por 100. La caldera debe examinarse cuidadosamente para detectar fugas cuando la presión llegue al máximo permisible grabado sobre la caldera.

Se llevó la presión a 225 Psig. pero uno de los registros de mano se disparó entonces se procedió a vaciar la caldera para arreglar la empacadura y luego seguir con la prueba.

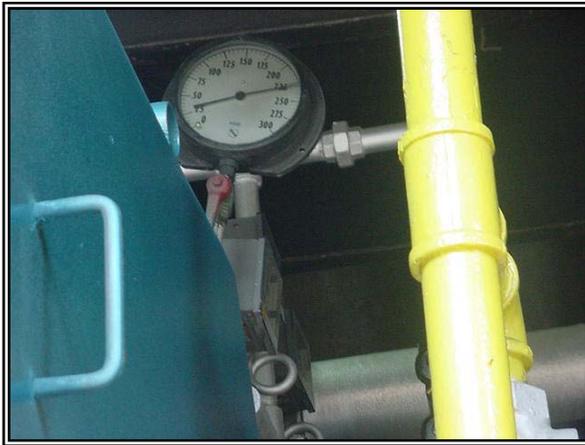


Figura 3.38.- Manómetro a 225 psig.



Figura 3.39.- Registro de mano.



Caldera terminada:



Figura 3.40.- Caldera.



Figura 3.41.- Estructura del quemador

3.8.- ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

El analizador portátil de Orzat se usa para determinar los porcentajes en volumen de dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, etc., en los gases de combustión.

El analizador usado es el **COSA Model 6000 HC** el cual es electrónico.

El COSA 6000 HC ha desarrollado un analizador de gas de descarga portátil que puede medir y puede computar las emisiones de la descarga en el sitio, sin molestia.

Con sus sensores de O_2 , CO , NO_x , CH_x , los cuales miden todos los tipos de combustible; el COSA 6000 HC es un instrumento versátil y poderoso.

El microordenador de la tabla simplifica el funcionamiento y elimina la necesidad de los mapas de conversión. El usuario cuenta con las guías del programa que son amistosas al operador a través de los menús fácilmente entendidos. Se puede hacer la impresión de las medidas exactas de emisiones con un registro permanente de los datos.

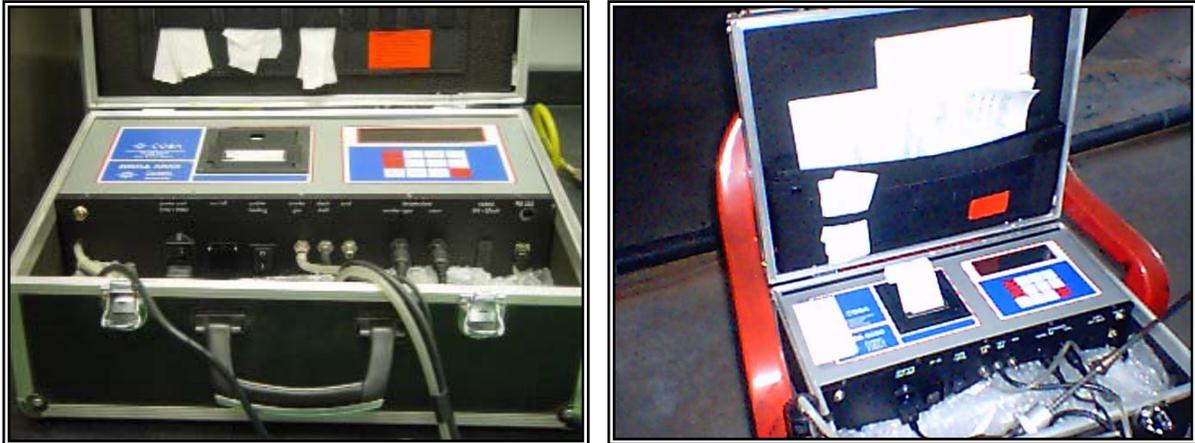


Figura 3.42.- Analizador COSA 6000 HC.

SPECIFICATIONS:	
Analyzed Gases and Measuring Ranges:	
Oxygen.....	0-20.9%
Carbon Monoxide (High).....	0-30,000 ppm
Carbon Monoxide (Low).....	0-8000 ppm
Carbon Dioxide.....	0-25% (calculated value)
Nitric Oxide.....	0-4000 ppm
Nitrogen Dioxide.....	0-1000 ppm
NOx (No + NO2).....	0-5000 ppm
Hydrocarbons.....	0-6.00%
Lambda Ratio.....	1:0>
Stack Draft.....	± 4" H2O
Soot Test.....	0-9 Soot Index
Temperature.....	0-2200°F
Accuracy:	
O2.....	± 2.0% Reading or 0.1% O2
CO (low), NO, NO2.....	± 2.0% Reading or 2 ppm
CO (high).....	± 5.0% Reading or 5 ppm
CHx.....	± 10.0% Reading
Temperature.....	± 2.0% Reading
Sensitivity:	
O2.....	0.1% Sensor Type: Electrochemical
CHx.....	0.01% Catalytic Bead
CO (low), NO, NO2.....	1.0 ppm Electrochemical
CO (high).....	10 ppm Electrochemical
Temperature.....	1.0°C Thermocouple 'K'
Pressure.....	0.01" Diaphragm Sensor
Operating Temperature:	
Analyzer (Ambient).....	0-120°F (0-50°C)
Probe (Continuous).....	0-1550°F (0-850°C)
Probe* (Short Term).....	0-2200°F (0-1200°C)
*Short term 3 minutes	
Display:.....	LCD High Contrast Readout

Figura 3. 43.- Especificaciones del COSA Model 6000 HC.

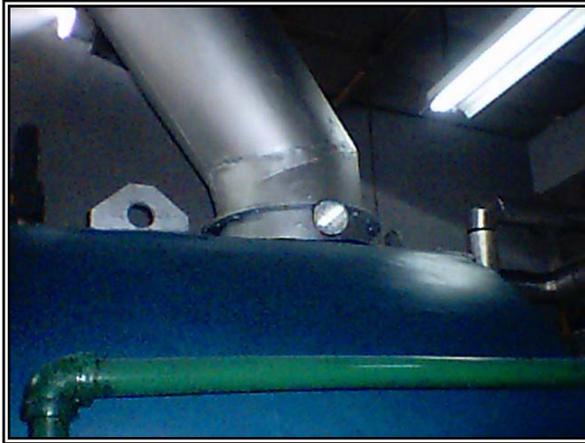


Figura 3.44.- Chimenea.



Figura 3.45.- Toma de muestra.

<pre> Customer: _ _ _ _ _ ***** * COSA 6800 HC * ***** Time : 15:51:27 Date : 07.03.2003 Natural gas 11.7% TRoom 84.7 DEG.F TGas 393.2 DEG.F O2 10.8 % CO 0 PPM 0 mg/m3 0 PPM15%O2 NOX 37 PPM 50 mg/m3 21 PPM15%O2 NO2 0 PPM 0 mg/m3 0 PPM15%O2 NO 37 PPM 50 mg/m3 21 PPM15%O2 CH4 0.01 % CO2 5.7 % EFF 80.3 % Lambda 2.05 Draft 0.00 inH2O RPM Soot -.-.-.- COSA Instr. Corp. 55, Oak Street Norwood New Jersey 07648 </pre>	<pre> Customer: _ _ _ _ _ ***** * COSA 6800 HC * ***** Time : 15:34:47 Date : 07.03.2003 Natural gas 11.7% TRoom 86.5 DEG.F TGas 394.7 DEG.F O2 10.6 % CO 0 PPM 0 mg/m3 0 PPM15%O2 NOX 38 PPM 52 mg/m3 21 PPM15%O2 NO2 0 PPM 0 mg/m3 0 PPM15%O2 NO 38 PPM 52 mg/m3 21 PPM15%O2 CH4 0.00 % CO2 5.8 % EFF 80.5 % Lambda 2.01 Draft 0.00 inH2O RPM Soot -.-.-.- COSA Instr. Corp. 55, Oak Street Norwood New Jersey 07648 </pre>
---	---

Figura 3.46.- Resultados de algunas mediciones.



Luego de que la caldera Power Master (Distral) estaba en operación se apagó la caldera Continental para hacerle reparaciones y hasta los actuales momentos no se ha arreglado.

3.8.1.- Combustible:

El gas natural es el principal combustible utilizado en generación de vapor, ya que los gases manufacturados son de costo muy elevado. Los gases subproducto normalmente tienen bajo poder calorífico y se producen en menores cantidades, de forma que normalmente se utilizan en los puntos de producción y no se distribuyen. El gas natural es incoloro e inodoro. La composición varía según la fuente y origen, pero el metano (CH₄) es siempre el principal componente. La mayoría del gas natural contiene algo de etano (C₂H₆) y una pequeña cantidad de nitrógeno. El gas de algunas zonas a menudo llamado gas de pozo, contiene sulfuro de hidrógeno y vapores orgánicos de azufre. El poder calorífico medio ronda los 1.000 Btu/ft³ (8.898,3 kcal./m³). El gas natural se vende por pies cúbicos (m³).

Componentes	Límite	Valor (% molar)
Metano (C1)	Min.	80,0
Etano (C2)	Máx.	12,0
Propano (C3)	Máx.	3,0
Butano más (C4+)	Máx.	1,5
Hidrocarburos Insaturados	Máx.	0,2
Dioxido de Carbono (CO2)	Máx.	8,5
Nitrógeno (N2)	Máx.	1,0
Hidrógeno (H2)	Máx.	0,1
Oxígeno (O2)	Máx.	0,1
Monóxido de Carbono	Máx.	0,1

Figura 3.47.- Composición del Gas natural.

Fuente: Norma venezolana Gas Natural. Características mínimas de calidad.

Covenin 4:6 – 003.



Composición química del gas natural en línea	
CH ₄	0,81729
C ₂ H ₆	0,06901
C ₃ H ₈	0,02103
C ₄ H ₁₀	0,01445
CO ₂	0,07572
N ₂	0,00250
	1,0000

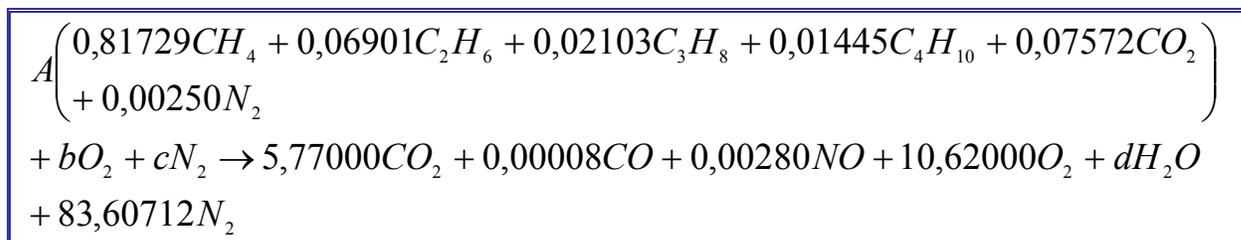
Análisis de gases. Analizador de Orzat.	
Combustible: Gas Natural	
O ₂	10,62000 %
CO	0,80000 ppm (0,00008 %)
NO	28,00000 ppm (0,00280 %)
CO ₂	5,77000 %
N ₂	83,60712 %
	100,00000 %

Fuente: PDVSA - GAS.

10.000 ppm → 1 % en volumen

Otro aspecto fundamental que se debe estudiar es la combustión; por medio del analizador de orzat se obtuvo un análisis de los gases productos de la combustión el cual se procedió a realizar un análisis estequiométrico y energético que se presenta a continuación para conocer y evaluar como se está desarrollando dicha actividad.

4.1.- ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTRICO



**Balance de Carbono (C)**

$$A[0,81729 + (0,06901 * 2) + (0,02103 * 3) + (0,01445 * 4) + 0,07572] = 5,77000 + 0,00008$$

$$A[0,81729 + 0,13802 + 0,06309 + 0,05780 + 0,07572] = 5,77008$$

$$1,15192A = 5,77008 \Rightarrow A = \frac{5,77008}{1,15192} = 5,00909$$

Balance de Hidrógeno (H)

$$A[(0,81729 * 4) + (0,06901 * 6) + (0,02103 * 8) + (0,01445 * 10)] = 2d$$

$$A[3,26916 + 0,41406 + 0,16824 + 0,14450] = 2d \Rightarrow 3,99596A = 2d$$

Sustituyendo A se tiene:

$$3,99596(5,00909) = 2d \Rightarrow 20,01612 = 2d \Rightarrow d = \frac{20,01612}{2} = 10,00806$$

Balance de Oxígeno (O)

$$(A * 0,07572 * 2) + 2b = (5,77000 * 2) + 0,00008 + 0,00280 + (10,62000 * 2) + d$$

$$(5,00909 * 0,15144) + 2b = 11,54000 + 0,00008 + 0,00280 + 21,24000 + d$$

Se sustituye d y se obtiene

$$0,75857 + 2b = 32,78288 + 10,00806 \Rightarrow 0,75857 + 2b = 42,79094$$

$$2b = 42,79094 - 0,75857 \Rightarrow 2b = 42,03237 \Rightarrow b = \frac{42,03237}{2} = 21,01618$$

Balance de Nitrógeno (N)

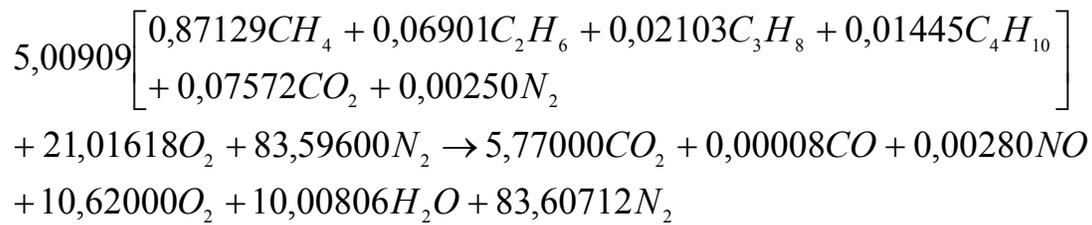
$$(A * 0,00250 * 2) + 2c = 0,00280 + (83,60712 * 2)$$

$$(5,00909 * 0,00500) + 2c = 0,00280 + 167,21424$$

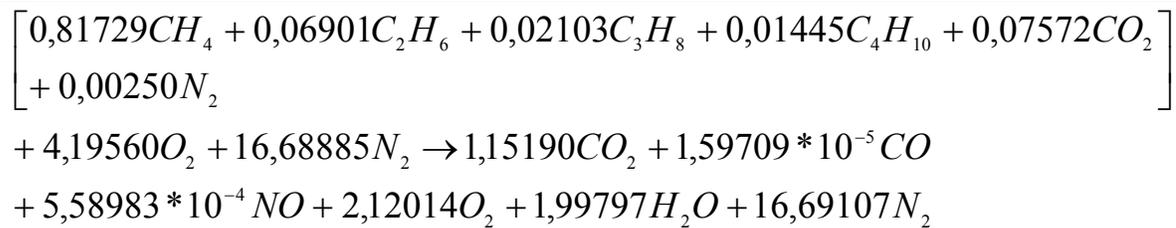
$$0,02504 + 2c = 167,21704 \Rightarrow 2c = 167,21704 - 0,02504 \Rightarrow 2c = 167,19200$$

$$c = \frac{167,19200}{2} = 83,59600$$

Sustituyendo los coeficientes encontrados por medio del balance se obtiene:



Dividiendo entre 5,00909 se tiene que:



Esta es la ecuación real

$$\text{Moles de aire} = 4,19560 + 16,68885$$

$$\text{Moles de aire} = 20,88445$$

$$\text{Moles de combustible} = 0,81729 + 0,06901 + 0,02013 + 0,01445 + 0,07572$$

$$+ 0,00250 = 1$$

N moles

Δh Diferencias de entalpías

Δh_f° Entalpía de formación

T Temperatura en Kelvin

CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, CO₂ y N₂ forman una mezcla la cual constituye el combustible (gas natural) utilizado para la combustión.

$$\text{Coeficiente de aire teórico) } AT = \frac{R_{a/c}}{R_{a/c}^*}$$

$R_{a/c}^*$ Relación aire - combustible teórica.

$R_{a/c}$ Relación aire - combustible real

$$\text{Exceso de aire} = AT \% - 100 \%$$

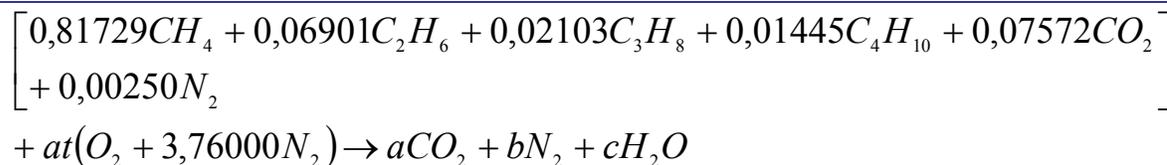
$$\bar{R}_{a/c} = \frac{\text{moles aire}}{\text{moles comb}}$$



$$\bar{R}_{a/c} = \frac{20,88445}{1} = 20,88445$$

Ecuación teórica

El aire está compuesto por 21 % oxígeno y 79 % Nitrógeno de donde $21/21 = 1$ y $79/21 = 3,76$



Balanceando

(C)

$$0,81729 + (0,06901 * 2) + (0,02103 * 3) + (0,01445 * 4) + 0,07572 = a \\ 0,81729 + 0,13802 + 0,06309 + 0,05780 + 0,07572 = a \Rightarrow 1,15192 = a$$

(H)

$$(0,81729 * 4) + (0,06901 * 6) + (0,02103 * 8) + 0,01445 * 10 = 2c \\ 3,26916 + 0,41406 + 0,16824 + 0,14450 = 2c \Rightarrow 3,99596 = 2c \Rightarrow c = \frac{3,99596}{2} \\ c = 1,99798$$

(O)

$$(0,07572 * 2) + 2at = 2a + c$$

Sustituyendo a y c se obtiene:

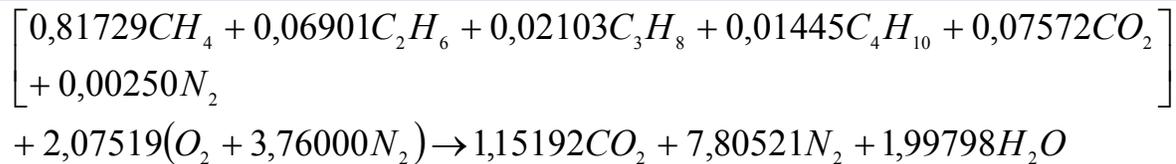
$$0,15144 + 2at = (2 * 1,15192) + 1,99798 \Rightarrow 0,15144 + 2at = 2,30384 + 1,99798 \\ 0,15144 + 2at = 4,30182 \Rightarrow 2at = 4,30182 - 0,15144 \Rightarrow 2at = 4,15038 \\ at = \frac{4,15038}{2} = 2,07519$$



(N)

$$(0,00250 * 2) + (at * 3,76000 * 2) = 2b \Rightarrow 0,00500 + (2,07519 * 3,76000 * 2) = 2b$$

$$0,00500 + 15,60542 = 2b \Rightarrow 15,61042 = 2b \Rightarrow b = \frac{15,61042}{2} = 7,80521$$

**Esta es la ecuación teórica**

$$\text{Moles de aire} = 2,07519 + 7,80271$$

$$\text{Moles de aire} = 9,87790$$

$$\bar{R}_{a/c}^* = \frac{\text{molesaire}}{\text{molescomb}}$$

$$\bar{R}_{a/c}^* = \frac{9,87790}{1} = 9,87790$$

$$AT = \frac{20,88445}{9,87790} = 2,11426 \Rightarrow$$

$$2,11426 * 100 \% = 211,426 \%$$

$$\text{Exceso de aire} = 211,426 \% - 100 \%$$

$$\text{Exceso de aire} = 111,426 \%$$

$$R_{a/c} = \frac{\text{masasaire}}{\text{masacomb}} = \frac{N_{aire} * PM_{aire}}{N_{comb} * PM_{comb}}$$

$$PM \text{ aire} = 28,97 \text{ kg/kmol}$$



Sustancia	Fórmula	Yi	PMi [kg/kmol]	Yi*PMi
Metano	CH ₄	0,81729	16,04300	13,11178
Etano	C ₂ H ₆	0,06901	30,07000	2,07513
Propano	C ₃ H ₈	0,02103	44,09400	0,92729
Butano	C ₄ H ₁₀	0,01445	58,12400	0,83989
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,07572	44,01000	3,33243
Nitrógeno	N ₂	0,00250	28,01300	0,07003
				Σ=20,35655

PM = ΣYi * PMi entonces el PM combustible = 20,35655 kg/kmol

$$R_{a/c} = \frac{20,88445 * 28,97}{1 * 20,35655} = 29,72126$$

$$R_{a/c}^* = \frac{masasaire}{masacomb} = \frac{Naire * PMaire}{Ncomb * PMcomb}$$

$$R_{a/c}^* = \frac{9,87790 * 28,97}{1 * 20,35655} = 14,05752$$



4.2.- ANÁLISIS ENERGÉTICO

Reactivos	N	T [K]	ΔH_f° [kJ/kmol]	ΔH [kJ/kmol]	$N^*(\Delta h_f^\circ + \Delta h)$
CH ₄	0,81729	298,15	-74.873	0	-61.192,95417
C ₂ H ₆	0,06901	298,15	-84.740	0	-5.847,90740
C ₃ H ₈	0,02103	298,15	-103.900	0	-2.185,01700
C ₄ H ₁₀	0,01445	298,15	-126.200	0	-1.823,59000
CO ₂	0,07572	298,15	-393.522	0	-29.797,48584
N ₂	0,00250	298,15	0	0	0
O ₂	4,19560	298,15	0	0	0
N ₂	16,68885	298,15	0	0	0

$$\sum H_r = -100846,95441$$

Productos	N	T [K]	ΔH_f°	ΔH [KJ/Kmol]	$N^*(\Delta H_f^\circ + \Delta H)$
CO ₂	1,15190	472,62	-393.522	7.127,11240	-445.088,27102
CO	1,59709*10 ⁻⁵	472,62	-110.527	5.122,92100	-1,68339
NO	5,58983*10 ⁻⁴	472,62	90.291	5.232,39780	53,39595
O ₂	2,12014	472,62	0	5.248,44580	11.127,43987
H ₂ O	1,99797	472,62	-241.826	5.971,36640	-471.230,48229
N ₂	16,69107	472,62	0	5.106,02800	85.225,07077

$$\sum H_p = -819.914,53011$$

La temperatura de los reactivos se tomó como 25 °C porque la diferencia de temperaturas respecto a la temperatura dada por el análisis de orzat es muy pequeño.

Calor liberado al agua $Q = H_p - H_r$

$$Q = -819.914,53011 - (-100.846,95441)$$

$$\bar{Q} = -719.067,57570 \text{ kJ / kmol de combustible}$$

Aplicando 1^{era} Ley de la termodinámica se tiene

$$\dot{Q} = \dot{m}^* (h_g - h_f) = \bar{Q}^* n \quad \text{despejando } n$$

$$h_g @ 114,7 \text{ psi} = 2.769,1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_f @ 55 \text{ °C} = 230,20 \text{ kJ/kg}$$



$$\dot{n} = \frac{\dot{m}^* (h_g - h_f)}{\bar{Q}} = \frac{4.693,2 \text{ kg/hr} * (2.769,1 \text{ kJ/kg} - 230,20 \text{ kJ/kg})}{719.067,5757 \text{ kJ/Kmol}}$$

$$\dot{n} = \frac{4.693,2 \text{ kg/hr} * 2.538,9 \text{ kJ/kg}}{719.067,5757 \text{ kJ/Kmol}} = 16,5708 \text{ kmol/hr}$$

entonces

$$\dot{Q}^* = \bar{Q} * \dot{n} = 719.067,5757 \text{ kJ/kmol} * 16,5708 \text{ kmol/hr} = 11.915.524,9834 \text{ kJ/hr}$$

$$\dot{Q}^* = 3.309,8680 \text{ kJ/s} = 3.309,8680 \text{ KW} \quad \text{KW} = \text{Kilovatio}$$



4.3.- PRUEBAS DE COMBUSTIÓN

PRUEBAS DE COMBUSTION																
#	Hora	Dia	Gas Natural	T del cuarto	T del gas	O2	CO		NOx		NO2		NO		CH4	CO2
			[%]	[F°]	[F°]	[%]	[ppm]	[mg/m3]	[ppm]	[mg/m3]	[ppm]	[mg/m3]	[ppm]	[mg/m3]	[%]	[%]
1	02:49:00 p.m.	03/07/2003	11,70	88,50	391,40	10,60	2,00	2,00	38,00	52,00	0,00	0,00	38,00	52,00	0,00	5,80
2	03:24:24 p.m.	03/07/2003	11,70	86,70	384,40	10,60	2,00	2,00	38,00	52,00	0,00	0,00	38,00	52,00	0,00	5,80
3	03:31:07 p.m.	03/07/2003	11,70	87,20	391,40	10,60	0,00	0,00	37,00	50,00	0,00	0,00	37,00	50,00	0,00	5,80
4	03:34:47 p.m.	03/07/2003	11,70	86,50	394,70	10,60	0,00	0,00	38,00	52,00	0,00	0,00	38,00	52,00	0,00	5,80
5	03:47:14 p.m.	03/07/2003	11,70	84,70	388,70	10,80	2,00	2,00	37,00	50,00	0,00	0,00	37,00	50,00	0,01	5,70
6	03:51:27 p.m.	03/07/2003	11,70	84,70	393,20	10,80	0,00	0,00	37,00	50,00	0,00	0,00	37,00	50,00	0,01	5,70
7	11:15:59 a.m.	04/07/2003	11,70	82,70	392,10	10,70	0,00	0,00	13,00	17,00	0,00	0,00	13,00	17,00	0,00	5,70
8	11:30:57 a.m.	04/07/2003	11,70	85,40	390,50	10,50	1,00	1,00	14,00	19,00	0,00	0,00	14,00	19,00	0,00	5,80
9	11:50:48 a.m.	04/07/2003	11,70	85,60	392,30	10,50	1,00	1,00	14,00	19,00	0,00	0,00	14,00	19,00	0,00	5,80
10	12:07:12 p.m.	04/07/2003	11,70	85,60	391,80	10,50	0,00	0,00	14,00	19,00	0,00	0,00	14,00	19,00	0,00	5,80
	PROMEDIO		11,70	85,76	391,05	10,62	0,80	0,80	28,00	38,00	0,00	0,00	28,00	38,00	0,00	5,77

Tabla 4.1.- Resultados del análisis de gases.



A continuación se especifican todas las características técnicas de los equipos que conforman los diferentes servicios que utilizan vapor.

Cabe destacar que hay algunos equipos que no poseen información ya que tienen aproximadamente el tiempo de fundado el hospital y por diversas causas no tienen los datos de placa.

- **4.4.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE LAVANDERÍA**

5 Planchas industriales grandes.

Marca: American.

Máxima presión de trabajo: 125 psi.

Consumo de vapor: 55 Lbs/hr.

4 Planchas industriales pequeñas.

Marca: Unipress.

Modelo: 1021 – A.

Serial: E66/7038.

Consumo de vapor: 21 Lbs/hr.

2 Secadoras industriales grandes.

Marca: CISELL.

Modelo: L44CD42S.

Serial: 12693 – 490.

Consumo de vapor: 431 Lbs/hr.

Máxima presión de trabajo: 100

psig.

Voltios: 208.

Fase: 3.

60 Hz.

Amperios: 10.



2 Secadoras industriales pequeñas.

Marca: Huebsch Originators.

Modelo: 37 x 30.

Máxima presión de trabajo: 125 psi.

Electric: 440/60/3.

Consumo de vapor: 230 Lbs/hr.

4 lavadoras industriales.

Marca: Pollerin Milnor Corporation.

Modelo: 60044WE3/ADJ.

Serial: 4469705/84267.

Electric: 400/60/3.

Consumo de vapor: 544 Lbs/hr.

1983.

2 Tren de secado.

Marca: Super.

Modelo: 8R – 120.

Serial 66 – 346.

Máxima presión de trabajo: 125 psi.

Consumo de vapor: 120 Lbs/hr.

- **4.5.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE COCINA**

5 Marmitas

(4 de Cocina y una de fórmulas lácteas).



Marca: Leguion Equipment.
Modelo: LP – 30 GAL.
Capacidad: 30 Galones
Máxima presión de trabajo: 40 psi.
Temperatura: 650 °F.
Consumo de vapor: 62 Lbs/hr.
1967.

4 Marmitas

Capacidad: 120 Galones.
Consumo de vapor: 304 Lbs/hr.

3 Vaporizadores.

Marca: Steam Chef.
Serial: 509C-3B.
Máxima presión de trabajo: 8 psi.
Presión de Operación: 3 – 5 psi.
Consumo de vapor: 39 Lbs/hr.

1 Baño de María. (fórmulas lácteas).

Marca: Precision Scientific.
Serial: 13 – Y – 11.
Fase: 1.
Ciclos: A.C.
Amp: 9.2.

Voltios 120.
Watt 1100.
Cat 66648.
Rango de temperatura 0 a 100 °C.
Consumo de vapor: 21 Lbs/hr.



- **4.6.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE ESTERILIZACIÓN**

13 Autoclaves

(1 fórmulas lácteas, 2 de laboratorio, 3 de área quirúrgica y 7 de central de suministro).

Área quirúrgica

Marca: Baumer.

Modelo: B.365.V.336.

Serie: 75.01.033.

Data: 11.77.

Forza 220V/60hz/3F/10amp.

Máxima presión de trabajo: 40 psi. a 300 °F.

Consumo de vapor: 156 lbs/hr.

Capacidad: 30 lbs.

Fórmulas lácteas

Marca: Castle 3230.

Consumo de vapor: 156 Lbs/hr.

Laboratorio

Marca: Castle 3230.

Consumo de vapor: 156 Lbs/hr.



Central de suministro

Marca: 2 Autoclaves Baumer.

Consumo de vapor: 156 Lbs/hr.

Marca: 3 Autoclaves Castle 3230.

Consumo de vapor: 156 Lbs/hr.

Marca: 2 Autoclaves Precision Scientific.

Consumo de vapor: 156 Lbs/hr.



Cálculo del consumo de vapor por hora:

Con la cantidad de equipos y el consumo individual se calculó las libras por hora que se necesitan de vapor.

	Cantidad	Consumo	Total
LAVANDERÍA			
Planchas Grandes	5	55 Lbs/hr	275 Lbs/hr
Planchas Pequeñas	4	21 Lbs/hr	84 Lbs/hr
Secadoras Grandes	2	431 Lbs/hr	862 Lbs/hr
Secadoras Pequeñas	2	230 Lbs/hr	460 Lbs/hr
Lavadoras	4	544 Lbs/hr	2176Lbs/hr
Tren de secado	2	120 Lbs/hr	240 Lbs/hr
COCINA			
Marmitas 30 Gal.	5	62 Lbs/hr	310 Lbs/hr
Marmitas 120 Gal.	4	304 Lbs/hr	1216Lbs/hr
Vaporizadores	3	39 Lbs/hr	117 Lbs/hr
Baño de María	1	21 Lbs/hr	21 Lbs/hr
ESTERILIZACIÓN			
Autoclaves (Área Quirúrgica)	3	156 Lbs/hr	468 Lbs/hr
Autoclaves (Fórmulas Lácteas)	1	156 Lbs/hr	156 Lbs/hr
Autoclaves (Laboratorio)	2	156 Lbs/hr	312 Lbs/hr
Autoclaves (Central de Suministro)	7	156 Lbs/hr	1092Lbs/hr
TOTAL			7789Lbs/hr

Tabla 4.2.- Cálculo de Lbs. por hora de los equipos dañados y operativos que utilizan vapor



Este cálculo se hizo tomando en cuenta todos los equipos dañados y operativos.

Cálculo de lbs/hr de vapor de equipos que se encuentran operativos

	Cantidad	Consumo	Total
LAVANDERÍA			
Secadoras Grandes	1	431 Lbs/hr	431 Lbs/hr
Secadoras Pequeñas	1	230 Lbs/hr	230 Lbs/hr
Lavadoras	1	544 Lbs/hr	544 Lbs/hr
COCINA			
Marmitas 30 Gal.	5	62 Lbs/hr	310 Lbs/hr
Marmitas 120 Gal.	4	304 Lbs/hr	1216Lbs/hr
Vaporizadores	3	39 Lbs/hr	117 Lbs/hr
ESTERILIZACIÓN			
Autoclaves (Área Quirúrgica)	1	156 Lbs/hr	156 Lbs/hr
Autoclaves (Fórmulas Lácteas)	1	156 Lbs/hr	156 Lbs/hr
Autoclaves (Laboratorio)	2	156 Lbs/hr	312 Lbs/hr
Autoclaves (Central de Suministro)	2	156 Lbs/hr	312 Lbs/hr
TOTAL			3784Lbs/hr

Tabla 4.3.- Cálculo de Lbs. por hora de los equipos operativos que utilizan vapor

4.7.- PRUEBAS DE AGUA.

Para determinar la calidad del agua utilizada en las calderas se procedió a realizarle al agua pruebas para conocer sus propiedades.

	1	2	3	4
Turbiedad (UNT)	11,00	2,80	0,46	42,00
ph	7,00	7,00	6,90	6,90
Alcalinidad a ph 4,5 (mg CaCO ₃ /l)	220,00	158,00	134,00	138,00
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	308,00	205,00	163,00	196,00
Dureza cálcica (mg/l CaCO ₃)	250,00	163,00	125,00	150,00
Dureza magnésica (mg/l CaCO ₃)	58,00	42,00	38,00	46,00
Dureza carbonática (mg/l CaCO ₃)	220,00	158,00	134,00	138,00
Dureza no carbonática (mg/l CaCO ₃)	88,00	47,00	29,00	58,00
Sólidos Totales (mg/l)	474,00	311,00	252,00	316,00
Sólidos Disueltos (mg/l)	464,00	302,00	246,00	300,00
Sólidos Suspendidos (mg/l)	10,00	9,00	6,00	16,00

- La prueba de agua se realizó en la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas de la Universidad Central de Venezuela (PETA).
- Los números superiores indican el número de muestras:
 - 1 Agua que viene directamente de Hidrocapital.
 - 2 Agua del Tanque Ablandador número 1.
 - 3 Agua del Tanque Ablandador número 2.
 - 4 Agua que entra directamente a la caldera (tanque de condensado).
- En el Apéndice H se encuentran los resultados de las pruebas, los expuestos anteriormente en la tabla son los necesarios para hacer el estudio.

Dureza en ppm (mg/l) como CaCO ₃	Clasificación de agua
Menos de 15	Muy suaves
15 - 50	Suaves
51 - 100	Medianamente suave
101 - 200	Duras
Más de 200	Muy duras

Tabla 4.4.- Clasificación del agua, según su dureza.

Fuente: Tratamiento de Agua. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.

1ppm = 1 mg por litro

La prueba de sílice no se realizó debido a que el agua de hidrocapiatal no contiene sílice. Esta información fue suministrada por los ingenieros de la Planta Experimental de Tratamiento de Agua de la Universidad Central de Venezuela

La dureza del agua puede ser clasificada en los siguientes términos:

Dureza total: proveniente de las sales de calcio y magnesio presentes en el agua.

Dureza cálcica: provocada por la presencia del ion calcio (Ca⁺⁺).

Dureza magnésica: provocada por la presencia del ion magnesio (Mg⁺⁺).

Dureza carbonática: la presente bajo la forma de carbonatos (CO₃⁼) y bicarbonato (HCO₃)

Dureza permanente o no carbonática: la presente bajo la forma de cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄⁼) y nitratos (NO₃)



4.8.- CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Para realizar el cálculo del consumo del combustible se hicieron mediciones por medio de un medidor de gas con los siguientes datos de placa:

Medidor Gallus 6/20C

Vol CIC 2 dm³.

Año 1.975.

Presión máxima de servicio 1,5 Kg/cm².

Número 205790.

Hecho en Venezuela por covenal.

Bajo licencia Computers Schlumberger (Francia).

Se tomaron 5 mediciones de las cuales se calculó un promedio.

Número	Valor
1	621,2010 m ³ /hr.
2	623,1950 m ³ /hr.
3	619,2000 m ³ /hr.
4	620,1990 m ³ /hr.
5	623,1980 m ³ /hr.
Promedio	621,3986 m ³ /hr.

Para utilizar el valor obtenido hay que corregir a las condiciones estándar por presión y por temperatura para obtener el valor real entonces:

$$Q_{estandar} = Q_{medición} * \left(\frac{P_{estandar}}{P_{medición}} \right) * \left(\frac{T_{medición}}{T_{estandar}} \right) \quad Q \rightarrow \text{caudal} \quad T \rightarrow \text{temperatura}$$

de donde las condiciones estándar son 25 °C (77 °F) y 1 atmósfera (14,7 psi) y las condiciones de las mediciones son 5,8938 psig (12 in Hg) y 90 °F.



$$Q_{estandar} = 621,3986 \frac{m^3}{hr} * \left(\frac{14,7 psi}{5,8938 + 14,7 psi} \right) * \left(\frac{90^\circ F + 460}{77^\circ F + 460} \right) = 454,2966 \frac{m^3}{hr}$$

la gravedad específica del gas utilizado es $ge = 0,710$

$$\rho_{agua} = 1.000 \frac{kg}{m^3}$$

entonces $ge = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{agua}}$ donde ρ es densidad, despejando la densidad del gas se

$$\text{obtiene } \rho_{gas} = ge * \rho_{agua} = 0,710 * 1.000 \frac{kg}{m^3} = 710 \frac{kg}{m^3}$$

\dot{m} es flujo másico

ahora bien el $Q = \frac{\dot{m}}{\rho_{gas}}$ despejando el flujo másico $\dot{m} = Q * \rho_{gas}$

$$\text{sustituyendo los valores } \dot{m} = 454,2966 \frac{m^3}{hr} * 710 \frac{kg}{m^3} = 322.550,586 \frac{kg}{hr}$$

4.9.- CONSUMO DE AGUA.

Para realizar el cálculo del consumo del agua se hicieron mediciones por medio de un medidor ultrasónico con los siguientes datos de placa:

Controlotron
Hauppauge, NY11788
System 1010
Model 1010WDP1
S/N U1925
V/M B1
External Power Input
Voltaje 10,5 to 18,5 VDC
Current: 3,0 Amps máx.

El principio de medición de estos equipos es el efecto Doppler, basado en la propiedad de que las frecuencias de las ondas sonoras de un foco emisor varían con la velocidad relativa respecto al observador. En estos equipos se emite una señal ultrasónica en el seno del líquido que será reflejada por las partículas suspendidas o por las burbujas que se desplazan con el fluido cuyo caudal se desea medir.



Figura 4.1.- Medidor ultrasónico.



Figura 4.2.- Medidor ultrasónico.



Con la ayuda de Hidrocapital se realizaron las mediciones ya que ellos son los que facilitaron el medidor ultrasónico.

Se tomaron 5 mediciones de las cuales se calculó un promedio.

Número	Valor
1	4.454,0000 lt/hr
2	4.809,0000 lt/hr
3	4.523,0000 lt/hr
4	4.751,0000 lt/hr
5	4.659,0000 lt/hr
Promedio	4.639,2000 lt/hr

Con respecto al agua no se realizan correcciones debido a que no hay variaciones de densidad relevantes.

Condiciones de las mediciones son 80 psig y 131 °F.

*
 m es flujo másico

ahora bien el $Q = \frac{m^*}{\rho_{agua}}$ despejando el flujo másico $m^* = Q * \rho_{agua}$

llevando la densidad del agua a kg/lt se obtiene:

$$\rho_{agua} = 1.000 \frac{kg}{m^3} * \frac{0,001m^3}{1lt} = 1,000 \frac{kg}{lt}$$

sustituyendo los valores $m^* = 4.639,2000 \frac{lt}{hr} * 1,0000 \frac{kg}{lt} = 4.639,2000 \frac{kg}{hr}$

4.10.- CONSUMO DE VAPOR.

Para realizar el cálculo del consumo de vapor se aplica la Ecuación de Continuidad.

Volumen de control: Caldera.

Estado a la entrada: P y T conocidas; estado fijo.

Estado a la salida: P conocida.

Proceso: Régimen permanente y flujo estable.

$m_1^* = m_2^*$ donde el subíndice 1 se refiere a la entrada del agua y el subíndice 2 a la salida de vapor.

$$Q_1 * \rho_1 = Q_2 * \rho_2$$

$$Q_2 = \frac{Q_1 * \rho_1}{\rho_2}$$

$$\text{donde } \rho_2 = \frac{\rho_1 * P_{\text{estándar}}}{P_{\text{trabajo}}} = \frac{1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 14,7 \text{ psi}}{100 + 14,7 \text{ psi}} = 128,1604 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

convirtiendo kg/m^3 a kg/lt

Presión de trabajo = 100 psig

$$\rho_2 = 128,1604 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{0,001 \text{m}^3}{1 \text{lt}} = 0,1281604 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}$$

$$\text{entonces } Q_2 = \frac{4.639,2000 \frac{\text{lt}}{\text{hr}} * 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{128,1604 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 36.198,3888 \frac{\text{lt}}{\text{hr}}$$

$$\text{y flujo másico } m_2^* = Q_2 * \rho_2 = 36.198,3888 \frac{\text{lt}}{\text{hr}} * 0,1281604 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} = 4.639,1999 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$



4.11.- OFERTA Y DEMANDA.

Para conocer si el Sistema de Generación de Vapor está cumpliendo con los requerimientos de vapor se procederá a analizar la oferta y demanda teórica y la oferta y demanda real

Con el manual de la caldera se conoce los siguientes valores:

Consumo de vapor	10.350 lb/hr (4.694 kg/hr)
Consumo de agua	5.175 lt/hr
Consumo de combustible	12.553 pie ³ /hr (355,4613 m ³ /hr)

De los cálculos de consumo se tiene:

Consumo de vapor	4.639,1999 kg/hr
Consumo de agua	4.639,2000 lt/hr
Consumo de combustible	454,2966 m ³ /hr

	Oferta teórica	Demanda teórica	Oferta real	Demanda real
Vapor	10.350 lb/hr (4.694 kg/hr)	7.789 lb/hr	4.639,1999 kg/hr	3.784 lb/hr (1.716,3935 kg/hr)

4.12.- EFICIENCIA.

Para el cálculo de la eficiencia se tiene:

$$\eta = \frac{m_v^* (h_g - h_f)}{m_c^* PCI} = \frac{Q_u}{Q_s}$$

donde:

η = Eficiencia de generación de la caldera (%)

Q_u = Calor útil proporcionado por el vapor generado (kJ/hr)

Q_s = Calor suministrado por el combustible quemado (kJ/hr)

m_v^* = Flujo de vapor (kg/h)

h_g = Entalpía de vapor (kJ/kg)

h_f = Entalpía de agua de alimentación (kJ/kg)

PCI = Poder calorífico del combustible (kJ/m³)

m_c^* = Flujo de combustible (m³/h)

De las tablas termodinámicas

$h_g @ 114,7 \text{ psi} = 2.769,1 \text{ kJ/kg}$

$h_f @ 55 \text{ °C} = 230,20 \text{ kJ/kg}$

$1 \text{ m}^3 = 35,31 \text{ pie}^3$ y $1 \text{ Joule} = 9,481 \cdot 10^{-4} \text{ BTU}$

$$PCI = 1000 \frac{BTU}{\text{pie}^3} = 37.258,9458 \frac{kJ}{\text{m}^3}$$



$$m_c^* = 454,2966 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$m_v^* = 4.639,1999 \text{ kg/hr}$$

sustituyendo los valores queda:

$$\eta = \frac{4.639,1999 \text{ kg/hr} * \left(2.769,1 \text{ kJ/kg} - 230,20 \text{ kJ/kg} \right)}{454,2966 \text{ m}^3/\text{hr} * 37.258,9458 \text{ kJ/m}^3}$$

$$\eta = \frac{4.639,1999 \text{ kg/hr} * 2.538,9 \text{ kJ/kg}}{454,2966 \text{ m}^3/\text{hr} * 37.258,9458 \text{ kJ/m}^3} = \frac{11.778.464,6261 \text{ kJ/hr}}{16.926.612,3965 \text{ kJ/hr}}$$

$$\eta = 0,6958 * 100 = 69,58\%$$

Con los datos del catálogo de la caldera se procede también a calcular la eficiencia de diseño

$$m_c^* = 355,4613 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$m_v^* = 4.694 \text{ kg/hr}$$

sustituyendo los valores queda:

$$\eta = \frac{4.694 \text{ kg/hr} * \left(2.769,1 \text{ kJ/kg} - 230,20 \text{ kJ/kg} \right)}{355,4613 \text{ m}^3/\text{hr} * 37.258,9458 \text{ kJ/m}^3}$$

$$\eta = \frac{4.694 \text{ kg/hr} * 2.538,9 \text{ kJ/kg}}{355,4613 \text{ m}^3/\text{hr} * 37.258,9458 \text{ kJ/m}^3} = \frac{11.917.596,6 \text{ kJ/hr}}{13.244.113,3107 \text{ kJ/hr}}$$

$$\eta = 0,8998 * 100 = 89,98\%$$



PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN

Esencialmente para la Optimización del Sistema de Generación de Vapor del Hospital “Miguel Pérez Carreño” se tiene que contar con una rutina de mantenimiento preventivo el cual no se realiza y esto lleva a recurrir directamente al mantenimiento correctivo cuando se presenta un problema.

A continuación se presenta una rutina de mantenimiento que si es aplicada correctamente optimiza el sistema y reduce los costos de mantenimiento correctivo:

5.1.- Rutina de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Agua:

COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Tanques Ablandadores	<ul style="list-style-type: none">• Mantener su exterior limpio.• Reponer su pintura para evitar posibles oxidaciones. Se Recuerda que por estar cerca del área del tanque almacenador de salmuera podrían originarse oxidaciones en su superficie.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.• Por lo menos una vez al año
Resina Intercambiadora	<ul style="list-style-type: none">• Respetar el tiempo estipulado para realizar las operaciones de lavado y regenerado, para garantizar su completa limpieza y	<ul style="list-style-type: none">• Realizar su lavado y regenerado cuando la prueba de dureza del agua de salida de los tanques ablandadores así lo indique.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Resina Intercambiadora	capacidad intercambiadora adecuada. <ul style="list-style-type: none">• Revisar si mantiene el volumen adecuado.• Reponer la resina para mantener su volumen y evitar variaciones en la capacidad intercambiadora.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.• Si se determina que es necesario.
Válvulas de Compuerta	<ul style="list-style-type: none">• Revisar y prestar atención a las válvulas que se encuentren en contacto directamente con el agua dura, ya que es frecuente la formación de depósitos en sus asientos. Limpiarlos.• Si los asientos se encuentran en muy mal estado, cambiar la válvula.	<ul style="list-style-type: none">• Cada dos meses.• Cuando sea necesario.
Válvulas Multiposicionales	<ul style="list-style-type: none">• Destapar y revisar los asientos y engranajes interiores.• Lubricar si es	<ul style="list-style-type: none">• Anual.• Anual.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
	necesario.	
Manómetros	<ul style="list-style-type: none">• Chequear su calibración y revisar su funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.
Tuberías	<ul style="list-style-type: none">• Retocar la pintura para evitar oxidaciones.	<ul style="list-style-type: none">• Anual.
Tuberías interiores de distribución de los tanques ablandadores	<ul style="list-style-type: none">• Chequear el estado de las tuberías de distribución superiores, ya que son las más propensas a la formación de incrustaciones.• Las tuberías inferiores, por estar cubiertas con el lecho de grava, arena y estar en contacto constantemente con agua blanda y filtrada, tiene mayor duración.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.• Cada 2 años.



**5.2.- Rutina de Mantenimiento para el sistema de Bombeo
(Bombas Centrífugas horizontales):**

COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Rodamientos	<ul style="list-style-type: none">• Cerciorarse de que no existan ruidos extraños.• Revisar a través del tacto cambios bruscos de temperatura.• Reponer el aceite usado para la lubricación.• Cambiar el aceite usado en la lubricación.• Extraer los rodamientos, lavarlos y examinarlos para detectar alguna falla. Después de lavarlos y revisarlos, cubrirlos inmediatamente con aceite para evitar su oxidación.	<ul style="list-style-type: none">• Diario.• Diario.• Mensual.• Semestral.• Anual.
Estoperas	<ul style="list-style-type: none">• Observar que no haya fuga excesiva a través de ellas.• Se existiera fugas excesivas, apretarlas hasta corregir. Se	<ul style="list-style-type: none">• Diario.• Cuando se observe.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Estoperas	<p>considera una fuga normal 10 gotas por minuto para este tipo de bombas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No apretar excesivamente las estoperas para evitar calentamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se requiera.
Empaquetaduras	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar el estado de la empaquetadura para determinar si es necesario reemplazarla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Semestral.
Alineación del motor y la bomba	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar la alineación entre el motor y la bomba. Corregir cuando sea necesario. • Comprobar el movimiento vertical del eje con las empaquetaduras desmontadas. Cualquier movimiento vertical en exceso, requiere determinar la causa. • Revisar los tornillos fijadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Semestral. • Anual. • Diario.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Eje o flecha	<ul style="list-style-type: none"> • Extraer las estoperas y empaquetaduras para examinar si tienen algún desgaste. 	<ul style="list-style-type: none"> • Anual.

5.3.- Rutina de Mantenimiento para las Calderas:

COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Conjunto del quemador	<ul style="list-style-type: none"> • Chequear el funcionamiento del conjunto del quemador, por medio de la observación de la llama. • Verificar la presión del combustible, tanto la del conjunto piloto como la de suministro para la llama principal. • Revisar la calibración de los manómetros ubicados en la tubería de alimentación principal y del piloto. • Inspeccionar y mantener limpias las rejillas de entrada de aire del ventilador. • Inspeccionar la limpieza de la punta del electrodo de ignición y ajustarla para la correcta formación de chispa. • Revisar el estado de la porcelana del electrodo • Limpiar la boquilla, utilizando un solvente adecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diario. • Diario. • Diario. • Diario. • Trimestral. • Trimestral. • Trimestral.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Conjunto del quemador	<ul style="list-style-type: none">• Verificar la tensión de las correas que transmiten el movimiento del motor al ventilador. Sustituirlas en caso de desgaste o mal estado.• Verificar que la intensidad de corriente del motor del ventilador no sobrepase al valor nominal (placa).• Revisar el estado de los rodamientos tanto del motor como del ventilador. Lubricar y cambiar si es necesario.• Revisar el buen estado del transformador de ignición y de sus cables de conexión con el electrodo.• Analizar con un equipo Orzat los gases resultantes de la combustión.• Cerciorarse de que no existan vibraciones, ni ruidos extraños tanto en el ventilador como en el motor.• Limpiar el motor del ventilador con solvente dieléctrico.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.• Trimestral.• Trimestral.• Trimestral.• Mensual.• Diario.• Mensual.
Controles de nivel de agua	<ul style="list-style-type: none">• Cerciorarse de que los electrodos de nivel apagan automáticamente la caldera a través de una señal eléctrica al bajar el nivel de agua contenido en su	<ul style="list-style-type: none">• Quincenal.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Controles de nivel de agua	<p>interior.</p> <ul style="list-style-type: none">• Revisar el funcionamiento de los interruptores de mercurio (ampollas de mercurio) del flotador del nivel del agua (Mc Donnell).• Desmontar el sistema de electrodos detectores del nivel máximo y mínimo de agua para su limpieza.• Desarmar el sistema de control de nivel (Mc Donnell) limpiarlo e inspeccionar si necesita alguna reparación.• Corregir fuga del cristal de nivel.• Revisar la limpieza interior del Mc Donnell realizando su purga.• Cambiar empacaduras del cristal de nivel de agua.	<ul style="list-style-type: none">• Diario.• Trimestral.• Anual.• Cuando exista.• Trimestral.• Anual.
Al abrir la caldera se debe revisar: Tubos de fuego y hogar	<ul style="list-style-type: none">• Realizar su limpieza interiormente utilizando cepillo de alambre. No se debe hacer esta limpieza con sustancias como aceite y agua. El operador debe utilizar mascarilla.• Eliminar incrustaciones alojadas en el lado de los tubos que se encuentran en contacto con el agua a través de medios químicos como	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.• Semestral.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
	desincrustantes y/o medios mecánicos como vibradores. <ul style="list-style-type: none">• Examinar su interior y determinar la existencia de corrosión.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.
Tapas de registros y bocas de visita.	<ul style="list-style-type: none">• Cambiar las empacaduras y limpiar los depósitos alojados en las orillas.• Lubricar las empacaduras al efectuar el cambio.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.• Semestral.
Interior del cuerpo de la caldera	<ul style="list-style-type: none">• Para efectuar una limpieza interior más completa, se debe realizar un tratamiento previo con productos químicos desincrustantes adecuado para el tipo de incrustación.• Luego limpiar el interior de la caldera con chorros de agua a presión para eliminar depósitos de lodo e incrustaciones.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.• Semestral.
Paredes refractarias	<ul style="list-style-type: none">• Inspeccionar cuidadosamente para observar cualquier grieta que pueda existir. Si se encontrara alguna grieta se debe cubrir con cemento refractario eliminando antes el hollín que pueda estar depositado.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.
Motor modutrol o modulador	<ul style="list-style-type: none">• Engrasar las conexiones de las varillas que transmiten su movimiento a la válvula mariposa de	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
	combustible y el registro de aire del ventilador.	
Manómetro principal	<ul style="list-style-type: none">• Inspeccionar su funcionamiento y calibración.	<ul style="list-style-type: none">• Semestral.
Válvulas de compuerta	<ul style="list-style-type: none">• Rectificar los asientos de las válvulas defectuosas, si es necesario sustituirlas.	<ul style="list-style-type: none">• Anual.
Tanque de condensado o calderín	<ul style="list-style-type: none">• Purgar el tanque para eliminar posibles depósitos formados.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.
Presostatos	<ul style="list-style-type: none">• Revisar el funcionamiento de los interruptores de mercurio (ampolla de mercurio) de los controles de presión o presostatos.• Cerciorarse de que la presión a la que se activa el presostato para encender y apagar la caldera o activar el dial del programador es realmente la que indica en su escala numérica.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.• Trimestral.
Limpieza exterior de la caldera	<ul style="list-style-type: none">• Limpiar exteriormente las calderas y retocar la pintura donde sea necesario, respetando los respectivos códigos de colores establecidos.	<ul style="list-style-type: none">• Anual.
Material del aislante térmico de la caldera	<ul style="list-style-type: none">• Revisar su estado.	<ul style="list-style-type: none">• Anual.
Detector de llama	<ul style="list-style-type: none">• Limpiar el ojo del detector de llama con un paño limpio y libre de cualquier solvente.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.



5.4.- Rutina de Mantenimiento para el Sistema de Distribución de Vapor:

COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Soportes	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar su estado y empotramientos a paredes o techo. • Apretar si es necesario la tuercas que hacen variar la posición de las bases que soportan las tuberías • Asegurarse de que no existen soportes doblados o desprendidos porque esta situación puede llegar a deformar las juntas de dilatación y crear escapes. <p><u>Nota:</u> Nunca se debe utilizar otras tuberías como soporte, ni se debe emplear cables o alambres para tal propósito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mensual. • Mensual. • Mensual.
Aislante térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar el estado del aislante térmico. • Asegurarse de que no existan desprendimientos del aislante. • Reparar cualquier rotura o grieta del aislante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trimestral. • Trimestral. • Cuando existan.
Trampas de vapor	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar que estén funcionando correctamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Diario.
Tuberías (Primarias, secundarias y de retorno de condensado)	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar si existe vibración. Por más pequeña que sea una 	<ul style="list-style-type: none"> • Mensual.



COMPONENTE	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
	<p>vibración puede convertirse en algo serio si no se remedia.</p> <ul style="list-style-type: none">• Verificar que la intensidad de corriente del motor del ventilador no sobrepase al valor nominal (placa).• Limpiar la superficie exterior de las camisas de aislante que envuelven las tuberías, de tal forma que los posibles escapes o desperfectos del aislante puedan ser fácilmente vistos y reparados.	<ul style="list-style-type: none">• Trimestral.• Mensual.
Válvulas reductoras de presión	<ul style="list-style-type: none">• Revisar que estén funcionando correctamente.• Cerciorarse de que no existan ruidos extraños durante la operación.	<ul style="list-style-type: none">• Mensual.• Mensual.
Filtros	<ul style="list-style-type: none">• Limpiar todos los filtros que existan en el sistema.	<ul style="list-style-type: none">• Mensual.
Revisión general a todos los componentes (uniones, codos, válvulas, etc.)	<ul style="list-style-type: none">• Observar cuidadosamente a lo largo de todo el recorrido del sistema de distribución de vapor para detectar posibles pérdidas.	<ul style="list-style-type: none">• Diario.



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

PRUEBAS DE AGUA.

Muestras

- 1 Agua que viene directamente de Hidrocapital.
- 2 Agua del Tanque Ablandador número 1.
- 3 Agua del Tanque Ablandador número 2.
- 4 Agua que entra directamente a la caldera (tanque de condensado).

TURBIDEZ:

Con respecto a la turbidez se pudo observar que la muestra 1 (agua que viene directo de hidrocapital) tuvo una turbidez de 11 y la muestra 4 (agua que entra en la caldera que se encuentra en el tanque de condensado) tuvo una turbidez de 42. En cambio el agua que se encuentra en los tanques ablandadores, muestras 2 y 3 obtuvieron una turbidez de 2,8 y 0,46 respectivamente. Con estos resultados se pudo observar que en la muestra 1 y 4 hay presencia de partículas que le dan a el líquido un apariencia opaca, y esta opalescencia es producto de materias en suspensión, que se manifiestan por la reducción de transparencia o brillantez del agua.

SÓLIDOS:

En cuanto a los sólidos totales se obtuvo los siguientes resultados 474 ppm. en la muestra 1, 311 ppm. en la muestra 2, 252 ppm. en la muestra 3 y 300 ppm. en la muestra 4.

Comparando estos valores con la tabla de límites máximos permisibles de agua de calderas que se encuentra en el apéndice A se pudo observar que estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles que es hasta 3500 ppm.

**DUREZA:**

Los resultados obtenidos con respecto a la dureza son los siguientes: 308 ppm. muestra 1, 205 ppm. muestra 2, 163 ppm. muestra 3, 196 ppm. muestra 4, se puede ver que los niveles de dureza son altos inclusive en los tanque ablandadores la dureza es alta esto indica que no están cumpliendo correctamente con su función. La dureza que debe tener el agua en el sistema de generación de vapor no se debe exceder de 50 ppm. ya que mayor valores ocasionan incrustaciones.

ALCALINIDAD:

Con respecto a la alcalinidad se obtuvo los siguientes resultados: 220 ppm muestra 1, 158 ppm. muestra 2, 134 ppm muestra 3 y 138 ppm en la muestra 4. Se verificó que estos valores estén dentro de los límites máximos permisibles de alcalinidad que se encuentra en el apéndice A, obteniendo que se encuentra dentro de los límites porque para una presión de caldera entre 0 – 300 psi. el límite máximo es de 700 ppm. Una alcalinidad muy alta no es recomendable en aguas para calderas entonces es preferible mantener las concentraciones de alcalinidad no mayor de 350 ppm. porque cuando alcanza valores iguales o mayores empieza a producir espumas.

ph

Los valores obtenidos en cuanto al ph son los siguientes: 7 muestra 1, 7 muestra 2; 6,9 muestra 3 y 6,9 muestra 4, es decir que el agua es neutra no es ácida ni alcalina. La mayoría de las aguas naturales se encuentran ubicadas en el rango neutral de ph, esto es entre 6 y 8. El agua para calderas debe mantener un ph no menor 8,5 ya que el agua mientras más alcalina favorece a la precipitación de sales de la solución. Cuando el agua de



calderas tiene un ph ácido valores entre 0 y 7 favorece a la corrosión de los equipos e instalaciones metálicas que se pongan en contacto con el agua. Lo que quiere decir es que el agua utilizada no está ni formando depósitos ni incrustaciones porque estas tendencias están ligadas al valor del ph.

Con respecto a los tanques ablandadores se pudo observar una pequeña diferencia de valores con respecto al agua de hidrocapital y al agua que se le introduce a la caldera en cuanto a la dureza, alcalinidad, turbidez y sólidos totales, esto refleja que no están cumpliendo correctamente con su función la cual es reducir la dureza del agua prácticamente a cero.

COMBUSTIÓN.

Se obtuvo un porcentaje de aire teórico de 211,426 %, lo que quiere decir que el exceso de aire es de 111,426 %. En la práctica, la combustión completa se logra cuando se suministra una cantidad de aire mayor que la cantidad teórica, entonces con el resultado obtenido la combustión es completa.

Aunque se tiene exceso de aire de 111,426 % existen pequeñas cantidades de monóxido de carbono 0,00008 % (CO) y 0,0028 % de óxido nítrico (NO), esto es producto de la mezcla y de la turbulencia durante la combustión y son valores despreciables.

CONSUMO DE AGUA.

Al realizarse las mediciones con el medidor ultrasónico detectó una falla y empezó a indicar valores de caudal negativos lo que quiere decir que la válvula check está dañada y una gran parte del caudal se está devolviendo al



tanque de condensado. El consumo de agua con las mediciones es de 4.639,2 lt/hr y el consumo de agua dado por el fabricante es de 5.175 lt/hr es decir que la caldera en los actuales momentos está manejando un caudal por debajo del caudal de diseño.

OFERTA Y DEMANDA.

La demanda real del hospital es de 1.716,3935 kg/hr de vapor y la oferta que proporciona la caldera es de 4.639,2 Kg/hr, se puede observar que la caldera cumple con los requerimientos del hospital, pero no cuenta con una unidad de reserva para solventar cualquier eventualidad.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

El consumo de combustible dado por el fabricante de la caldera es de 355,4613 m³/hr y el obtenido con las mediciones es de 454,2966 m³/hr, lo que quiere decir que el caudal está por encima del caudal de diseño un 28 %, esto implica que el medidor no aportó mediciones exactas y que no se encuentra bien calibrado.

Este 28 % de diferencia se le puede también atribuir a la cantidad de reparaciones que se le han realizado a la caldera y al tiempo de uso que está por encima de los 20 años.

EFICIENCIA.

La eficiencia de diseño es de 89,98 % y la eficiencia que posee actualmente la caldera es de 69,58 %, la cual se encuentra dentro de un rango aceptable ya que la eficiencia de las calderas se encuentra entre un



rango de 50 % y 90 %. Comparando la eficiencia con la eficiencia de diseño se puede ver que hay una diferencia de 20,4 % debido a los años de trabajo de la caldera, a las múltiples reparaciones que se le han hecho y al valor obtenido del combustible.



CONCLUSIONES.

- La combustión es completa porque tiene un porcentaje de aire teórico mayor de 100 %.
- Existe una relación razonablemente buena aire/combustible signo de esto es que a la salida de la chimenea los gases producto de la combustión son un humo transparente y ligeramente gris.
- La dureza del agua se encuentra en valores muy altos, lo que quiere decir que el agua está produciendo incrustaciones en la caldera lo cual incide directamente sobre la vida útil de la misma.
- Los tanques ablandadores no se le está haciendo el mantenimiento correcto porque los valores de dureza son altos y deberían de llegar casi a cero.
- El agua es neutra debido a su ph, entonces no está produciendo precipitación de sales de la solución ni está aportando corrosión a los equipos e instalaciones. No se está cumpliendo con los valores de ph recomendados.
- Los operadores no están bien capacitados para enfrentar cualquier problema y solventarlo a la brevedad posible.
- No se lleva a cabo ninguna rutina de mantenimiento preventivo.
- La caldera cumple con los requerimientos de vapor que posee el hospital.
- La eficiencia de la caldera se encuentra entre el rango recomendado.



RECOMENDACIONES.

- Realizar las operaciones necesarias para que la planta de tratamiento de agua cumpla con sus funciones correctamente y así evitar el suministro de agua dura en las calderas.
- Se recomienda realizarle mantenimiento correctivo a la caldera que se encuentra fuera de servicio marca Continental ya que el sistema no cuenta con reserva.
- Cumplir con las rutinas de mantenimiento propuestas para mantener en óptimas condiciones el sistema.
- Instruir a los operadores acerca del sistema para que puedan cumplir con las rutinas de mantenimiento y solventar problemas rápidamente.
- Cambiar la válvula check que se encuentra en la tubería del agua de alimentación de la caldera, ya que no está cumpliendo con su función.
- Se recomienda la ampliación de la educación impartida por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela, hacia el campo de la Ingeniería Clínica en el cual el Ingeniero Mecánico tiene participación.



BIBLIOGRAFÍA.

1. Cengel, Yunis Boles. “Termodinámica”. Volumen I. Editorial Continental. México. (1990).
2. Cengel, Yunis Boles. “Termodinámica”. Volumen II. Editorial Continental. México. (1990).
3. Duran, Maria; Ricchiuti, Miguel Angel & Bastidas, Jose Ignacio. “Estudio de la Ingeniería Clínica en los hospitales de referencia de Caracas”. Caracas. (1997).
4. Incropera, Frank P. & De Witt, David P. “Fundamentos de Transferencia de Calor”. Cuarta edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A. México. (1996).
5. Joaquín Avellán C. A. “Catálogo Avellán”. Venezuela. (1982).
6. Kohan, Anthony Lawrence. “Manual de Calderas”. Volumen I. McGraw – Hill. Madrid. (2000).
7. Kohan, Anthony Lawrence. “Manual de Calderas”. Volumen II. McGraw – Hill. Madrid. (2000).
8. Maracay Urbina, Natanahel Josué. “Propuestas de Optimización del Sistema Generador de Vapor del Hospital Pediátrico San Juan de Dios”. Trabajo Especial de Grado. Instituto Universitario Tecnológico del Oeste Mariscal Sucre. Caracas. (1999).
9. Marquez A. Enrique J. “Instalación, Operación, Mantenimiento y Aspectos Legales sobre sistemas de Vapor”. Reta 3 Servicios Industriales. Caracas. (2000).
10. Mijares, R. & Lara Estrella. “Chronology of the Health System Polices and the Establishment of the Clinical Engineering”. Caracas. (1999).
11. Mijares, R; Lara Estrella, Luis & Dacosta, Antonio. “La Universidad como factor importante en el desarrollo de la gestión tecnológica medica asistencial en Venezuela”. Caracas. (1997).



12. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. “Mantenimiento de Plantas y Red de Distribución de Vapor”. Caracas. (1969).
13. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. “Tratamiento de Aguas para Equipos e Instalaciones de Hospitales”. Caracas. (1969).
14. Molina R., Horacio A. “Manual Operativo y de Mantenimiento Preventivo diseñado para la Planta Generadora de Vapor del Hospital J. M. de Los Ríos”. Trabajo Especial de Grado. Instituto Universitario de Tecnología Antonio José de Sucre. Caracas. (1997).
15. Norma venezolana Gas Natural. Covenin 4:6 – 003. Características mínimas de calidad.
16. Lara Estrella, Luis O. “Establecimiento de un sistema integral de gestión de tecnología para los hospitales militares del servicio de sanidad militar de la Fuerza Armada Nacional mediante el establecimiento de una red de Ingeniería Clínica”. Caracas. (2001).
17. Spirax Sarco, Inc. Design of Fluid Systems. (2001).
18. Van Wylen, Gordon J. “Fundamentos de Termodinámica”. 2^{da} Edición. Editorial Limusa. México. (1999).
19. www.calderasvapor.com
20. www.conae.gob.mx
21. www.heckmantube.com
22. www.lafacu.com
23. www.ssvsa.cl



ABREVIATURAS.

AT	Aire teórico.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
ASTM	Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
Btu	Unidad Térmica Británica.
C	Carbono.
°C	Grados Celsius (Centígrados).
Ca	Calcio.
CH ₄	Metano.
C ₂ H ₆	Etano.
C ₃ H ₈	Propano.
C ₄ H ₁₀	Butano.
CO	Monóxido de Carbono.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
Comb	Combustible.
°F	Grados Fahrenheit.
Ft	Pie.
Gal	Galones.
H	Hidrógeno.
H ₂ O	Agua.
HP	Caballo de Potencia.
Hp	Entalpía de los productos.
Hr	Entalpía de los reactantes.
hr	Hora.
in	Pulgada.
kcal	Kilocaloría.
kg	Kilogramo.
km	Kilómetro.
kW	Kilovatio.



lt	Litro.
Lb.	Libra.
Mg	Magnesio.
mm	Milímetro.
mt	Metro.
N ₂	Nitrógeno.
NDT	Pruebas no destructivas.
NO	Óxido nítrico.
O ₂	Oxígeno.
P	Presión
PM	Peso molecular.
Psi	Unidad de presión (lbs/in ²).
ppm	Partes por millón.
Q	Caudal.
T	Temperatura.
Yi	Fracción molar.



GLOSARIO.

Ablandamiento:

Acto de reducir la formación de incrustación por impureza de calcio y magnesio del agua.

Acidez:

Representa la cantidad de dióxido de carbono libre, ácidos minerales y sales (especialmente sulfatos o hierro y aluminio) que se hidrolizan para dar iones hidrógeno en el agua; se mide en ppm. de acidez como carbonato cálcico, o pH que es la medida de la concentración del ion hidrógeno.

Agujero o registro de hombre:

Abertura de acceso al interior de la caldera elíptica.

Agujero o registro de mano:

Abertura de inspección de mira o limpieza de una caldera, a menudo elíptica y cerrada por una chapa – tapa del agujero de mano.

Aire primario:

Aire introducido con el combustible en los quemadores.

Aire teórico:

La cantidad de aire necesaria para la combustión perfecta.

Aislante:

Bloque de amianto o magnesio colocado en el exterior de la virola de caldera o de la tubería de vapor.



Alcalinidad:

Es la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos que hay en el agua, expresada en granos por galón o (gramos por litro) y también por partes por millón como carbonato cálcico.

British thermal unit (BTU):

El significado de BTU es 1/180 del calor requerido para elevar la temperatura de una libra de agua desde 32 a 212 °F a la presión atmosférica constante. Es aproximadamente igual a la cantidad de calor requerido para elevar 1 lb. de agua 1 °F su temperatura.

Calidad de vapor:

Porcentaje en peso del vapor en una mezcla de vapor y agua.

Calor específico:

Cantidad de calor expresado en BTU, kilocalorías o julios, requerido para elevar 1 °F (°C) la temperatura de 1 libra (Kg.) de una sustancia.

Caloría:

La caloría es el 1/100 del calor requerido para elevar la temperatura de 1 gramo de agua desde 0 a 100 °C a presión atmosférica constante. Es aproximadamente igual a la cantidad de calor necesaria para elevar 1 °C la temperatura de un gramo de agua.

Capacidad tarada:

Capacidad establecida por el fabricante del equipo mecánico, por ejemplo, la cantidad continua máxima en libras de vapor por hora (o toneladas por hora) para la cual se ha diseñado la caldera.



Chimenea:

Salida de humos de acero.

Circulación natural:

Circulación de agua en una caldera producida por las diferencias de densidad; también referenciada como circulación térmica o térmicamente inducida.

Columna de agua:

Cámara hueca vertical situada entre la caldera y el nivel de vidrio con objeto de facilitar y estabilizar el nivel de agua en el nivel de vidrio mediante un depósito de capacidad de la columna. También la columna puede eliminar la obstrucción de las conexiones de menor diámetro del nivel y servir como cámara de sedimentación.

Combustión incompleta:

La oxidación parcial de los constituyentes de un combustible.

Combustión:

Combinación química del combustible (la parte que arde) con el oxígeno del aire suministrado al proceso. Las temperaturas pueden estar entre 1.850 y más de 3.000 °F (1.000 y 1.650 °C).

Combustión perfecta o estequiométrica:

Es la oxidación completa de todos los constituyentes energéticos de un combustible utilizando todo el oxígeno suministrado.

Condensado:

Agua condensada resultante de la eliminación del calor latente del vapor.



Corrosión:

Desgaste y desprendimiento de material como consecuencia de una acción química. En una caldera usualmente está producida por la presencia de O_2 , CO_2 o algún ácido.

Desprendimiento de calor:

La cantidad total de energía térmica por encima de una cantidad determinada introducida en el hogar por el combustible, considerando que es el producto de la tasa de combustible horaria por su poder calorífico superior expresado en BTU/hora por pie^3 o m^3 de volumen o pie^2 o m^2 de superficie de calefacción.

Detector de llama:

Dispositivo que indica si el combustible líquido, gaseoso o pulverizado se está quemando con llama o bien si la ignición ha fallado. La indicación puede transmitirse como señal a un sistema de control.

Entalpía:

Propiedad térmica de un fluido que es una función de estado y se define como la suma de la energía mecánica potencial almacenada y la energía interna. Se expresa generalmente en Btu/lb. (kcal. /kg.) de fluido o Julio/kg.

Exceso de aire:

Aire para la combustión suministrado en exceso sobre el teóricamente requerido para la oxidación completa del combustible.



Ignición:

Un sistema en el que el combustible para un quemador principal o piloto de gas o aceite se enciende directamente por una bujía eléctricamente energizada, bobina de encendido o por llama piloto de gas o aceite.

Ignición constante:

Normalmente un gas piloto que permanece encendido a pleno caudal independientemente de que el quemador principal esté encendido o no.

Ignición intermitente:

Una antorcha que quema durante los períodos sin funcionamiento del quemador principal y que se corta con el quemador principal.

Kilocaloría:

Es 1.000 veces mayor que la caloría, que es la cantidad de calor para elevar 1 °C la temperatura de un gramo de agua. Normalmente se usa la kilocaloría y la caloría está abandonada. Así pues 1 Btu equivale a 0,252 kcal. o 252 calorías.

Llama piloto constante:

Piloto que quema sin apagarse durante todo el tiempo que la caldera esté en servicio.

Piloto:

Un pequeño quemador que se usa para encender el quemador principal.

Poder calorífico inferior:

Es el poder calorífico superior menos el calor latente de vaporización del agua formada durante la combustión del hidrógeno del combustible.



Poder calorífico superior:

Calor total obtenido por la combustión de una cantidad específica de combustible que está a 60 °F (15,5 °C) de temperatura ambiente antes de medir el calor desprendido.

Presión:

Aplicada a calderas, fuerza ejercida por un líquido o gas sobre la unidad de superficie. Pueden distinguirse tres presiones: presión manométrica, presión unidad más la presión atmosférica y presión de vacío presión por debajo de la atmosférica, usualmente expresada en pulgadas (cm.) de Hg.

Presión absoluta:

Es la presión por encima de cero, igual a la presión manométrica más la presión atmosférica.

Presión crítica y temperatura crítica:

Son las correspondientes al punto en el que las diferencias entre el estado líquido y el estado de vapor desaparecen para el agua.

Presión de diseño:

Presión utilizada en el diseño de una caldera con el objeto de determinar el espesor mínimo de chapa admisible o las características físicas de las diferentes

Presión de trabajo admisible:

Máxima presión para la cual se ha diseñado y construido la caldera; la máxima presión manométrica de una caldera y la base para ajustar y tarar los dispositivos de descarga de presión que protegen a la caldera.



Presión manométrica:

Presión por encima de la atmósfera, 14,7 (1,03 Kg./cm²) a nivel del mar o la presión absoluta menos 14,7 (1 Kg./cm²) a nivel del mar.

Purga:

Conexión de drenaje incluyendo la tubería y la válvula que hay en la parte inferior de la caldera o a la altura del nivel normal de agua en el caso de purga superficial. La cantidad de agua que se purga también recibe esta denominación.

Quemador:

Aparato para la introducción a la zona de combustión del combustible y del aire de combustión adecuadamente mezclados en proporciones correctas.

Revelador:

Usado en la técnica NDT de líquido penetrante normalmente es un polvo blanco aplicado al material que está siendo probado después de la aplicación del líquido penetrante y la eliminación del exceso que no haya penetrado por la superficie. El revelador blanco acentúa el proceso de sangrado de la falta, intensificando el discernimiento de la indicación de grieta.

Tinte penetrante visible:

Aplicado a la inspección por líquidos penetrantes, líquidos intensamente coloreado (normalmente rojo) de alta penetración que proporciona un contraste máximo con el revelador blanco cuando se usa para detectar grietas o fallos superficiales.



Tiro:

Diferencia entre la presión atmosférica y alguna presión menor existente en el hogar o pasos de gases de la unidad generadora de vapor.

Unión a tope:

En las uniones a tope la soldadura se realiza entre los bordes de las piezas a enlazar, la preparación de los bordes se hará de acuerdo con el espesor de las piezas a soldar.

Unión a solape:

Las piezas se disponen de forma que una solape parcialmente a la otra. Para conseguir una buena resistencia, la longitud del solape debe ser mayor del triple del espesor de la pieza más fina. La unión se puede conseguir mediante la aplicación de uno o dos cordones de soldadura.

Válvula de seguridad:

Válvula que se abre automáticamente cuando la presión alcanza el vapor de ajuste de la válvula utilizada para evitar que la presión excesiva haga estallar la caldera.

Vapor:

Es aquel producido por la evaporación. El vapor saturado seco no contiene humedad y está a una temperatura específica para cada presión; no tiene color. La apariencia blanquecina del vapor de escape es debida a la condensación a temperatura inferior es el vapor de agua que parece blanco.

Vapor seco:

Vapor que no contiene humedad. Comercialmente el vapor seco no contiene más del 0,5 por 100 de humedad.



APÉNDICE A.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA SÓLIDOS, ALCALINIDAD Y SÍLICE EN AGUAS DE CALDERAS

Presión de operación [Psig]	Sólidos totales [ppm.]	Alcalinidad total [ppm.]	Sólidos suspendidos [ppm.]	Sílice [ppm.]
0 – 300	3.500	700	300	125
301 – 450	3.000	600	250	90
451 – 600	2.500	500	150	50
601 – 750	2.000	400	100	35
751 – 900	1.500	300	60	20
901 – 1.000	1.250	250	40	8
1.001 – 1.500	1.000	200	20	2,5
1.501 – 2.000	750	150	10	1
Mayor de 2.001	500	100	5	0,5

FUENTE: AMERICAN BOILER MANUFACTURERS ASSOCIATION.



APÉNDICE B.

TABLA A.13SI (Continuación) Propiedades de diversas sustancias como gases ideales (unidades SI), entropías a la presión de 0.1 MPa (1 bar)

Agua (H ₂ O)		Hidróxilo (OH)		
$\bar{h}_{f,298}^{\circ} = -241\,826 \text{ kJ/kmol}$		$\bar{h}_{f,298}^{\circ} = 38\,987 \text{ kJ/kmol}$		
$M = 18.015$		$M = 17.007$		
T K	$(\bar{h} - \bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K	$(\bar{h} - \bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K
0	-9904	0	-9172	0
100	-6617	152.386	-6140	149.591
200	-3282	175.488	-2975	171.592
298	0	188.835	0	183.709
300	62	189.043	55	183.894
400	3450	198.787	3034	192.466
500	6922	206.532	5991	199.066
600	10499	213.051	8943	204.448
700	14190	218.739	11902	209.008
800	18002	223.826	14881	212.984
900	21937	228.460	17889	216.526
1000	26000	232.739	20935	219.735
1100	30190	236.732	24024	222.680
1200	34506	240.485	27159	225.408
1300	38941	244.035	30340	227.955
1400	43491	247.406	33567	230.347
1500	48149	250.620	36838	232.604
1600	52907	253.690	40151	234.741
1700	57757	256.631	43502	236.772
1800	62693	259.452	46890	238.707
1900	67706	262.162	50311	240.556
2000	72788	264.769	53763	242.328
2200	83153	269.706	60751	245.659
2400	93741	274.312	67840	248.743
2600	104520	278.625	75018	251.614
2800	115463	282.680	82268	254.301
3000	126548	286.504	89585	256.825
3200	137756	290.120	96960	259.205
3400	149073	293.550	104388	261.456
3600	160484	296.812	111864	263.592
3800	171981	299.919	119382	265.625
4000	183552	302.887	126940	267.563
4400	206892	308.448	142165	271.191
4800	230456	313.573	157522	274.531
5200	254216	318.328	173002	277.629
5600	278161	322.764	188598	280.518
6000	302295	326.926	204309	283.227

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE C.

TABLA A.13SI (Continuación) Propiedades de diversas sustancias como gases ideales (unidades SI), entropías a la presión de 0.1 MPa (1 bar)

Dióxido de carbono (CO ₂) $\bar{h}_f^{\circ} = -393\,522 \text{ kJ/kmol}$ $M = 44.01$		Monóxido de carbono (CO) $\bar{h}_f^{\circ} = -110\,527 \text{ kJ/kmol}$ $M = 28.01$		
T K	$(\bar{h} - \bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K	$(\bar{h} - \bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K
0	-9364	0	-8671	0
100	-6457	179.010	-5772	165.852
200	-3413	199.976	-2860	186.024
298	0	213.794	0	197.651
300	69	214.024	54	197.831
400	4003	225.314	2977	206.240
500	8305	234.902	5932	212.833
600	12906	243.284	8942	218.321
700	17754	250.752	12021	223.067
800	22806	257.496	15174	227.277
900	28030	263.646	18397	231.074
1000	33397	269.299	21686	234.538
1100	38885	274.528	25031	237.726
1200	44473	279.390	28427	240.679
1300	50148	283.931	31867	243.431
1400	55895	288.190	35343	246.006
1500	61705	292.199	38852	248.426
1600	67569	295.984	42388	250.707
1700	73480	299.567	45948	252.866
1800	79432	302.969	49529	254.913
1900	85420	306.207	53128	256.860
2000	91439	309.294	56743	258.716
2200	103562	315.070	64012	262.182
2400	115779	320.384	71326	265.361
2600	128074	325.307	78679	268.302
2800	140435	329.887	86070	271.044
3000	152853	334.170	93504	273.607
3200	165321	338.194	100962	276.012
3400	177836	341.988	108440	278.279
3600	190394	345.576	115938	280.422
3800	202990	348.981	123454	282.454
4000	215624	352.221	130989	284.387
4400	240992	358.266	146108	287.989
4800	266488	363.812	161285	291.290
5200	292112	368.939	176510	294.337
5600	317870	373.711	191782	297.167
6000	343782	378.180	207105	299.809

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE D.

TABLA A.13SI Propiedades de diversas sustancias como gases ideales (unidades SI), entropías a la presión de 0.1 MPa (1 bar)

Nitrógeno, diatómico (N ₂) $\bar{h}_f^{\circ} = 0$ kJ/kmol $M = 28.013$			Nitrógeno, monoatómico (N) $\bar{h}_f^{\circ} = 472.680$ kJ/kmol $M = 14.007$	
<i>T</i> K	$(\bar{h}-\bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K	$(\bar{h}-\bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K
0	-8670	0	-6197	0
100	-5768	159.812	-4119	130.593
200	-2857	179.985	-2040	145.001
298	0	191.609	0	153.300
300	54	191.789	38	153.429
400	2971	200.181	2117	159.409
500	5911	206.740	4196	164.047
600	8894	212.177	6274	167.837
700	11937	216.865	8353	171.041
800	15046	221.016	10431	173.816
900	18223	224.757	12510	176.265
1000	21463	228.171	14589	178.455
1100	24760	231.314	16667	180.436
1200	28109	234.227	18746	182.244
1300	31503	236.943	20825	183.908
1400	34936	239.487	22903	185.448
1500	38405	241.881	24982	186.883
1600	41904	244.139	27060	188.224
1700	45430	246.276	29139	189.484
1800	48979	248.304	31218	190.672
1900	52549	250.234	33296	191.796
2000	56137	252.075	35375	192.863
2200	63362	255.518	39534	194.845
2400	70640	258.684	43695	196.655
2600	77963	261.615	47860	198.322
2800	85323	264.342	52033	199.868
3000	92715	266.892	56218	201.311
3200	100134	269.286	60420	202.667
3400	107577	271.542	64646	203.948
3600	115042	273.675	68902	205.164
3800	122526	275.698	73194	206.325
4000	130027	277.622	77532	207.437
4400	145078	281.209	86367	209.542
4800	160188	284.495	95457	211.519
5200	175352	287.530	104843	213.397
5600	190572	290.349	114550	215.195
6000	205848	292.984	124590	216.926

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE E.

TABLA A.13SI (Continuación) Propiedades de diversas sustancias como gases ideales (unidades SI), entropías a la presión de 0.1 MPa (1 bar)

T K	Óxido nítrico (NO) $\bar{h}_f^\circ = 90\,291$ kJ/kmol $M = 30.006$		Dióxido de nitrógeno (NO ₂) $\bar{h}_f^\circ = 33\,100$ kJ/kmol $M = 46.005$	
	$(\bar{h} - \bar{h}_{298})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K	$(\bar{h} - \bar{h}_{298})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K
0	-9192	0	-10186	0
100	-6073	177.031	-6861	202.563
200	-2951	198.747	-3495	225.852
298	0	210.759	0	240.034
300	55	210.943	68	240.263
400	3040	219.529	3927	251.342
500	6059	226.263	8099	260.638
600	9144	231.886	12555	268.755
700	12308	236.762	17250	275.988
800	15548	241.088	22138	282.513
900	18858	244.985	27180	288.450
1000	22229	248.536	32344	293.889
1100	25653	251.799	37606	298.904
1200	29120	254.816	42946	303.551
1300	32626	257.621	48351	307.876
1400	36164	260.243	53808	311.920
1500	39729	262.703	59309	315.715
1600	43319	265.019	64846	319.289
1700	46929	267.208	70414	322.664
1800	50557	269.282	76008	325.861
1900	54201	271.252	81624	328.898
2000	57859	273.128	87259	331.788
2200	65212	276.632	98578	337.182
2400	72606	279.849	109948	342.128
2600	80034	282.822	121358	346.695
2800	87491	285.585	132800	350.934
3000	94973	288.165	144267	354.890
3200	102477	290.587	155756	358.597
3400	110000	292.867	167262	362.085
3600	117541	295.022	178783	365.378
3800	125099	297.065	190316	368.495
4000	132671	299.007	201860	371.456
4400	147857	302.626	224973	376.963
4800	163094	305.940	248114	381.997
5200	178377	308.998	271276	386.632
5600	193703	311.838	294455	390.926
6000	209070	314.488	317648	394.926

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE F.

TABLA A.13SI (Continuación) *Propiedades de diversas sustancias como gases ideales (unidades SI), entropías a la presión de 0.1 MPa (1 bar)*

T K	Oxígeno, diatómico (O ₂) $\bar{h}_{f,298}^{\circ} = 0$ kJ/kmol M = 31.999		Oxígeno, monoatómico (O) $\bar{h}_{f,298}^{\circ} = 249 170$ kJ/kmol M = 16.00	
	$(\bar{h}-\bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K	$(\bar{h}-\bar{h}_{298}^{\circ})$ kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol K
0	-8683	0	-6725	0
100	-5777	173.308	-4518	135.947
200	-2868	193.483	-2186	152.153
298	0	205.148	0	161.059
300	54	205.329	41	161.194
400	3027	213.873	2207	167.431
500	6086	220.693	4343	172.198
600	9245	226.450	6462	176.060
700	12499	231.465	8570	179.310
800	15836	235.920	10671	182.116
900	19241	239.931	12767	184.585
1000	22703	243.579	14860	186.790
1100	26212	246.923	16950	188.783
1200	29761	250.011	19039	190.600
1300	33345	252.878	21126	192.270
1400	36958	255.556	23212	193.816
1500	40600	258.068	25296	195.254
1600	44267	260.434	27381	196.599
1700	47959	262.673	29464	197.862
1800	51674	264.797	31547	199.053
1900	55414	266.819	33630	200.179
2000	59176	268.748	35713	201.247
2200	66770	272.366	39878	203.232
2400	74453	275.708	44045	205.045
2600	82225	278.818	48216	206.714
2800	90080	281.729	52391	208.262
3000	98013	284.466	56574	209.705
3200	106022	287.050	60767	211.058
3400	114101	289.499	64971	212.332
3600	122245	291.826	69190	213.538
3800	130447	294.043	73424	214.682
4000	138705	296.161	77675	215.773
4400	155374	300.133	86234	217.812
4800	172240	303.801	94873	219.691
5200	189312	307.217	103592	221.435
5600	206618	310.423	112391	223.066
6000	224210	313.457	121264	224.597

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE G.

TABLA A.16SI *Entalpía de formación, función de formación de Gibbs y entropía absoluta de diversas sustancias a 25°C, 100 kPa de presión.*

Sustancia	Fórmula	<i>M</i>	Estado	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}_f° kJ/kmol K
Agua	H ₂ O	18.015	gas	-241.826	-228.582	188.834
Agua	H ₂ O	18.015	líquido	285.830	-237.141	69.950
Peroxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	34.015	gas	136.106	-105.445	232.991
Ozono	O ₃	47.998	gas	+142.674	-163.184	238.932
Carbono (grafito)	C	12.011	sólido	0	0	5.740
Monóxido de carbono	CO	28.011	gas	-110.527	-137.163	197.653
Dióxido de carbono	CO ₂	44.010	gas	-393.522	-394.389	213.795
Metano	CH ₄	16.043	gas	-74.873	-50.768	186.251
Acetileno	C ₂ H ₂	26.038	gas	+226.731	-209.200	200.958
Eteno	C ₂ H ₄	28.054	gas	+52.467	-68.421	219.330
Etano	C ₂ H ₆	30.070	gas	-84.740	-32.885	229.597
Propeno	C ₃ H ₆	42.081	gas	+20.430	+62.825	267.066
Propano	C ₃ H ₈	44.094	gas	-103.900	-23.393	269.917
Butano	C ₄ H ₁₀	58.124	gas	-126.200	-15.970	306.647
Pentano	C ₅ H ₁₂	72.151	gas	-146.500	-8.208	348.945
Benceno	C ₆ H ₆	78.114	gas	+82.980	+129.765	269.562
Hexano	C ₆ H ₁₄	86.178	gas	-167.300	+28	387.979
Heptano	C ₇ H ₁₆	100.205	gas	-187.900	+8.227	427.805
<i>n</i> -Octano	C ₈ H ₁₈	114.232	gas	-208.600	+16.660	466.514
<i>n</i> -Octano	C ₈ H ₁₈	114.232	líquido	-250.105	+6.741	360.575
Metanol	CH ₃ OH	32.042	gas	-201.300	-162.551	239.709
Etanol	C ₂ H ₅ OH	46.069	gas	-235.000	-168.319	282.444
Amoníaco	NH ₃	17.031	gas	-45.720	-16.128	192.572
Diesel <i>T-T</i>	C _{14.4} H _{24.9}	198.06	líquido	-174.000	+178.919	525.90
Azufre	S	32.06	sólido	0	0	32.056
Dióxido de azufre	SO ₂	64.059	gas	-296.842	-300.125	248.212
Trióxido de azufre	SO ₃	80.058	gas	-395.765	-371.016	256.769
Óxido de nitrógeno	N ₂ O	44.013	gas	-82.050	+104.179	219.957
Nitrometano	CH ₃ NO ₂	61.04	líquido	-113.100	-14.439	171.80

Fuente: Libro de termodinámica. Van Wylen.



APÉNDICE H.

Resultados de las pruebas de agua en la Planta Experimental de Tratamiento de Agua de la Universidad Central de Venezuela (PETA).



PLANTA EXPERIMENTAL DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
FACULTAD DE INGENIERIA - UCV

Calderas:

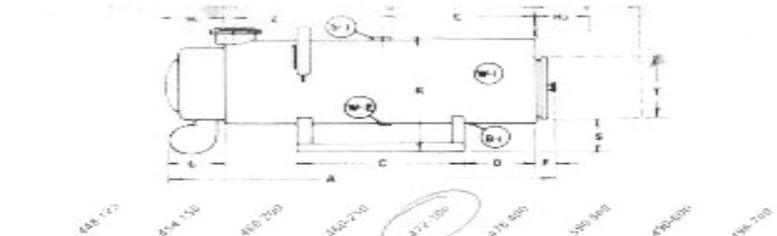
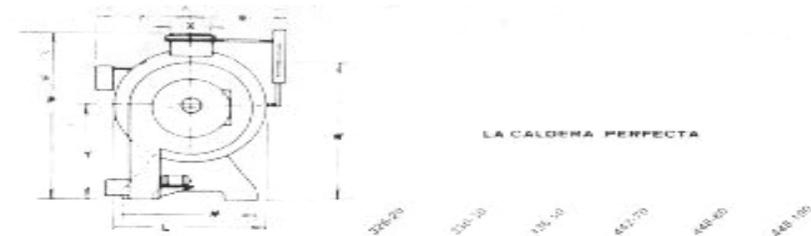
FECHA Y HORA DE CAPTACIÓN				
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	1	2	3	4
TIPO DE MUESTRA	Instantánea	Instantánea	Instantánea	Instantánea
ASPECTO *	Clara	Clara	Clara	Clara
TURBIEDAD (UNT)	11	2,8	0,46	42
COLOR VERDADERO (UCV)				
COLOR APARENTE (UC)				
CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA ($\mu\text{mho/cm}$)*	714	487	405	465
OXÍGENO DISUELTTO (mg/l)				
pH *	7,0	7,0	6,9	6,9
ALCALINIDAD A pH 8,3 (mg CaCO_3/l)*	0	0	0	0
A pH 4,5 (mg CaCO_3/l)*	220	158	134	138
DUREZA TOTAL (mg/l CaCO_3)	308	205	163	196
CALCICA (mg/l CaCO_3)	250	163	125	150
MAGNÉSICA (mg/l CaCO_3)	58	42	38	46
CARBONÁTICA (mg/l CaCO_3)	220	158	134	138
NO CARBONÁTICA (mg/l CaCO_3)	88	47	29	58
INDICE DE LANGELIER	0,04	-0,29	-0,57	-0,48
CLORUROS (mg/l)	48	35	23	30
SULFATOS (mg/l)	87	45	32	51
NITRITOS (mg/l N)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
NITRATOS (mg/l N)	0,34	0,29	0,23	0,22
CALCIO (mg/l)	100	65	50	60
MAGNESIO (mg/l)	14	10	9	11
SODIO (mg/l)	29	24	17	18
POTASIO (mg/l)	1,5	1,3	1,30	0,90
HIERRO (mg/l)	N/D	N/D	N/D	N/D
MANGANESO (mg/l)	N/D	N/D	N/D	N/D
Sólidos Totales (mg/l)	474	311	252	316
Sólidos Disueltos (mg/l)	464	302	246	300
Sólidos Suspendidos (mg/l)	10	9	6	16

*: Análisis en sitio

N.D. = No Determinado



APÉNDICE I. Especificaciones de la Caldera Continental.



DESCRIPCIÓN	A	B	C	D	E	F
Tubo	82	111 1/2	117	122 1/2	128 1/2	136 1/2
Vaso de Presión	8 1/2	26 1/2	26	32 1/2	35	41 1/2
Boiler	28 1/2	37 1/2	36 1/2	38 1/2	38 1/2	38 1/2
Salidas Traseño	19 1/2	18 1/2	15	24	22 1/2	22 1/2
Salida de Vapor a la Parte Traseña	21 1/2	24 1/2	23	24 1/2	21	28
Vaso de Presión a la Mira de Fuego	6 1/2	6 1/2	6 1/2	10 1/2	10 1/2	10 1/2
Salidas Agua Frontal	6 1/2	11 1/2	18	13 1/2	21 1/2	21 1/2
Asa de Abertura Frontal	38	30	34	42	48	48
Asa de Abertura Traseña	38	34	34	42	48	48
Limpieza de las Tubas	58	51	62	70	77	131
ANEXO						
Tubo	48	51 1/2	56	60	65	71
Vaso de Presión como Borno	38	34	41	40	33	33
Boiler	36	30	34	42	48	48
Asa de Control	23 1/2	25 1/2	26 1/2	27 1/2	34 1/2	34 1/2
Cámaras de Agua	24 1/2	26	26 1/2	25 1/2	25 1/2	25 1/2
ANEXO						
Balza de los Grupos de Combustión	40	51 1/2	56 1/2	67 1/2	75 1/2	76 1/2
Balza Principal de Vapor	46	60 1/2	58	57	72	78
Bandejo de Tubos	17 1/2	17 1/2	18 1/2	23 1/2	24	24
Diámetro del Borno de Chorro	20 1/2	20 1/2	28 1/2	24 1/2	22 1/2	28
Línea de Agua Normal	42	42	47 1/2	50	51 1/2	51 1/2
Barrera Salvo de Chorro	7 1/2	7 1/2	9 1/2	11 1/2	11 1/2	11 1/2
Diámetro de la Caldera	29 1/2	26 1/2	32	32	30 1/2	30 1/2
Línea de Salida de la Cámara de Chorro	24 1/2	6	1 1/2	2	1 1/2	2
ANEXO						
Salida de Vapor - Alta Presión	1 1/2	1 1/2	2	2	2	4" FLG
Salida de Vapor - Baja Presión	4" FLG	4" FLG	6" FLG	4" FLG	4" FLG	4" FLG
Salida de Agua Caliente	2 1/2	2 1/2	2	4" FLG	4" FLG	4" FLG
Asa (L) - Alta Presión	3	3	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Asa (L) - Baja Presión	3	3	1 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Grupos de Agua	1 1/2	1 1/2	1 1/2	2	2	2
Alimentación de Agua	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2
Botones de Agua Caliente	2 1/2	2 1/2	2	4" FLG	4" FLG	4" FLG
ANEXO						
Equivalencia en H.P.	20	25	30	32	35	113
Vapor (Lb.Hr.) - S. A. R.I.P.	620	1225	1225	2415	2160	3450
K. Water - Presión	670	1305	1375	2345	2060	3250
EDR Vapor	2790	4185	4375	3765	11190	15590
EDR Agua Caliente	540	800	1110	1980	1740	2550
CONDICIONES DE COMBUSTIBLE						
Asa de Llave Nº 2 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 3 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 4 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 5 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 6 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 7 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 8 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 9 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 10 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 11 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 12 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 13 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 14 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 15 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 16 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 17 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 18 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 19 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 20 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 21 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 22 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 23 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 24 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 25 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 26 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 27 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 28 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 29 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 30 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 31 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 32 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 33 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 34 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 35 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 36 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 37 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 38 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 39 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 40 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 41 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 42 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 43 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 44 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 45 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 46 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 47 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 48 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 49 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 50 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 51 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 52 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 53 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 54 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 55 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 56 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 57 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 58 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 59 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 60 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 61 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 62 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 63 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 64 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 65 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 66 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 67 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 68 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 69 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 70 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 71 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 72 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 73 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 74 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 75 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 76 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 77 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 78 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 79 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 80 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 81 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 82 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 83 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 84 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 85 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 86 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 87 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 88 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 89 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 90 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 91 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 92 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 93 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 94 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 95 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 96 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 97 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 98 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 99 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30
Asa de Llave Nº 100 (G.P.H.)	3	3	18	21	24	30

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D	E	F
Tubo	82	111 1/2	117	122 1/2	128 1/2	136 1/2
Vaso de Presión	8 1/2	26 1/2	26	32 1/2	35	41 1/2
Boiler	28 1/2	37 1/2	36 1/2	38 1/2	38 1/2	38 1/2
Salidas Traseño	19 1/2	18 1/2	15	24	22 1/2	22 1/2
Salida de Vapor a la Parte Traseña	21 1/2	24 1/2	23	24 1/2	21	28
Vaso de Presión a la Mira de Fuego	6 1/2	6 1/2	6 1/2	10 1/2	10 1/2	10 1/2
Salidas Agua Frontal	6 1/2	11 1/2	18	13 1/2	21 1/2	21 1/2
Asa de Abertura Frontal	38	30	34	42	48	48
Asa de Abertura Traseña	38	34	34	42	48	48
Limpieza de las Tubas	58	51	62	70	77	131
ANEXO						
Tubo	48	51 1/2	56	60	65	71
Vaso de Presión como Borno	38	34	41	40	33	33
Boiler	36	30	34	42	48	48
Asa de Control	23 1/2	25 1/2	26 1/2	27 1/2	34 1/2	34 1/2
Cámaras de Agua	24 1/2	26	26 1/2	25 1/2	25 1/2	25 1/2
ANEXO						
Balza de los Grupos de Combustión	40	51 1/2	56 1/2	67 1/2	75 1/2	76 1/2
Balza Principal de Vapor	46	60 1/2	58	57	72	78
Bandejo de Tubos	17 1/2	17 1/2	18 1/2	23 1/2	24	24
Diámetro del Borno de Chorro	20 1/2	20 1/2	28 1/2	24 1/2	22 1/2	