



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA Y ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE
CONDENSADO, EN EL TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE
LAS CALDERAS DEL HOSPITAL ROOSEVELT**

Javier Quan Hidalgo
Asesorado por el Ing. Jairo Arcia Reyes

Guatemala, junio de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA Y ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE
CONDENSADO, EN EL TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE LAS
CALDERAS DEL HOSPITAL ROOSEVELT**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAVIER QUAN HIDALGO

ASESORADO POR EL INGENIERO JAIRO ARCIA REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO
GUATEMALA, JUNIO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Zelada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA Y ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CONDENSADO, EN EL TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL ROOSEVELT,

tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 25 de octubre de 2005.

JAVIER QUAN HIDALGO

AGRADECIMIENTO A

DIOS Y LA SANTÍSIMA VIRGEN MARÍA

MIS PADRES Y HERMANOS

MI ESPOSA Y MI HIJA

MI ASESOR

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

ACTO QUE DEDICO A

MI ESPOSA Y MI HIJA

**Karen Nathalie Navas de Quan
Siyi Isabel Quan Navas**

MIS PADRES

**Mario René Quan Quan
Lily Hidalgo de Quan**

MIS HERMANOS

Jacobo y Mario David

MIS AMIGOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Descripción de la institución	1
1.1.1. Reseña histórica	2
1.1.2. Naturaleza del área de mantenimiento	3
1.1.2.1. Misión y visión	3
1.1.2.2. Organigrama	4
1.2. Estudio de mejoramiento	5
1.2.1. Importancia del aprovechamiento del condensado	5
1.3. Diagnóstico situacional	7
1.3.1. La caldera	8
1.3.1.1.1 Guardanivel para caldera	10
1.3.1.1.2 Potencia teórica	11
1.3.1.1.3 Presión	11
1.3.1.1.4 Combustible	12
1.3.1.1.5 Eficiencia	12
1.3.2. Tubería	13
1.3.3. Aislamiento térmico	14
1.3.4. Cheques y válvulas	18
1.3.5. Instrumentos de medición	19

1.3.5.1.	Termómetro para agua de alimentación	19
1.3.5.2.	Termómetro para gases de escape	20
1.3.5.3.	Manómetro para gases de escape	20
1.3.5.4.	Manómetro para presión de trabajo	20
1.3.5.5.	Manómetro para presión de combustible	21
1.3.5.6.	Manómetro para la presión de la cámara de combustión	21
1.3.6.	Sistema de recuperación de condensado	22
1.3.6.6.	Trampas de vapor	22
1.3.6.6.1.	Trampas de cubeta invertida	23
1.3.6.6.2.	Trampas termodinámicas	24
1.3.6.7.	Diagrama general de retorno de condensado	26
1.3.6.8.	Tubería de retorno de condensado	28
1.3.6.9.	Diagrama del cuarto de calderas	28
1.3.6.10.	Tanque de alimentación para las calderas	30
1.3.7.	Tratamiento actual del agua de calderas	31
1.3.7.6.	Purgas realizadas	35
1.3.7.7.	Bomba de suministro químico	36
1.3.8.	Bombas de alimentación	37

2. FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

2.1.	Propuestas de mejoras al sistema de retorno de condensado	39
2.1.1.	Calderas	39
2.1.1.1.	Parámetros para mejorar la eficiencia	42
2.1.1.2.	Incrustaciones	44
2.1.1.3.	Generación de vapor	48
2.1.2.	Aislamiento térmico del sistema	51
2.1.2.1.	Estructura	53
2.1.2.2.	Humedad	53

2.1.2.3.	Aislamiento térmico a utilizar en el sistema	54
2.1.2.4.	Espesor óptimo del aislamiento	55
2.1.3.	Recuperación de condensado	56
2.1.3.1.	Trampas de vapor	57
2.1.3.1.1.	Administración y mantenimiento	68
2.1.4.	Sistema de agua de alimentación	69
2.1.4.1.	Tanque de alimentación	71
2.1.4.1.1.	Sistema automático de suministro de agua fría	73
2.1.4.1.2.	Recuperación de calor	75
2.1.4.1.3.	Temperatura de agua de alimentación	76
2.1.4.2.	Tratamiento de agua para calderas	78
2.1.4.2.1.	Tratamiento externo	79
2.1.4.2.2.	Tratamiento interno	83
2.1.5.	Equipos para el manejo de agua	83
2.1.5.1.1.	Bomba de agua de alimentación	83
2.1.5.1.2.	Bomba dosificadora de químico	85
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA		91
ANEXOS		93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Organigrama del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, Hospital Roosevelt	4
2	Tubería dañada y fuga de vapor	14
3	Aislamiento térmico dañado	15
4	Pérdida de calor en MBTU/año por cada 100 pies (32.8m) de tubería de vapor descubierto	17
5	Trampa de vapor de cubeta invertida	23
6	Trampa de vapor termodinámica	25
7	Plano de distribución de vapor y retorno de condensado	27
8	Cuarto de calderas	29
9	Tanque de alimentación	31
10	Tanque de suministro químico	33
11	Bomba para suministro de químico	37
12	Eficiencia de combustión	41
13	Pérdida de combustible debido al tamaño de las incrustaciones en los tubos, del lado del agua.	45
14	Detalle típico de by pass	67
15	Sistema de control de agua de alimentación	69
16	Cuarto de calderas propuesto	70
17	Sistema automático de suministro de agua fría propuesto	73
18	Incremento de la eficiencia por precalentamiento del agua de alimentación	77
19	Datos técnicos de calderas Cleaver & Brooks	95

20	Partes de caldera pirotubular marca Cleaver & Brooks	96
21	Vista interior de caldera pirotubular marca Cleaver & Brooks	96
22	Tubería de vapor en malas condiciones y by-pass	97
23	Tubería de vapor con material aislante en túnel de distribución de vapor del Hospital Roosevelt	97
24	Múltiple de admisión en cuarto de calderas	98
25	Desperdicio de condensado, viene de rebalse del tanque de alimentación	

TABLAS

I	Especificaciones técnicas de la caldera 1	9
II	Especificaciones técnicas de trampas de vapor de cubeta invertida	24
III	Especificaciones técnicas de trampas de vapor termodinámicas	26
IV	Dimensiones del tanque de alimentación	30
V	Datos de funcionamiento de la caldera	34
VI	Datos de químico suministrado	34
VII	Datos de estado de la caldera	35
VIII	Datos del motor de suministro químico	36
IX	Datos del motor de bombas de alimentación	38
X	Porcentajes óptimos de CO ₂	39
XI	Porcentajes obtenidos de CO ₂	40
XII	Pérdida de combustible por incrustación	47
XIII	Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado, con eficiencia de aislamiento asumida en 75%	52
XIV	Espesor recomendado para aislamiento de fibra de vidrio	55
XV	Cantidad de aislamiento térmico requerido	56
XVI	Cantidad de tubería de hierro negro y accesorios requeridos	57
XVII	Ubicación de trampas de vapor en tubería hacia el edificio central	58
XVIII	Lb. de condensado/h de 100 pies de tubería de vapor aislada a 70° F (a 0° F incrementar 50%)	59
XIX	Carga de condensado en lb/h de las trampas en tubería a edificio central, pediatría y maternidad	60
XX	Factores de seguridad recomendados para trampas de vapor	61
XXI	Capacidades típicas para trampas de cubeta invertida	62
XXII	Capacidades típicas para trampas termodinámicas	63
XXIII	Ubicación de las trampas de vapor en lavandería	64

XXIV	Carga de condensado en lb/h de las trampas en tubería a lavandería	65
XXV	Accesorios recomendados para renovación de trampas de vapor utilizando el diseño actual	66

GLOSARIO

Calor	Energía que se produce debido a un cambio de temperatura.
Cavitación	Se produce cuando un líquido fluye a través de una región donde la presión es mayor que su presión de vapor, el líquido hierve y forma burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una región de baja presión, donde el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, contrayéndose bruscamente las burbujas y provocando daños al equipo más cercano.
Conducción	Es el calor transferido a través de un sólido, debido a un gradiente de temperatura, sin desplazamiento apreciable de partículas.
Convección	Es el calor transferido por mezcla de una parte de fluido con otra. El movimiento de líquido o gas puede producirse por diferencia de densidades causadas por diferencia de temperatura, o bien producirse el movimiento por medios mecánicos.
Corrosión	Desgaste lento de los sólidos, especialmente en los metales, por ataque químico.
Energía	Capacidad para producir un efecto.
Energía cinética	Energía poseída por una masa debido a su velocidad.

Energía interna	Energía poseída por una masa debido a su actividad molecular.
Fluidez	Término inverso a la viscosidad.
Incrustación	Depósito de carbonato de cal que se forma en las paredes de la caldera y tubos.
Ph	Coeficiente que indica el grado de acidez de un medio.
Potencia	Velocidad con la cual se hace un trabajo.
Presión	Fuerza ejercida en un área determinada. Si la presión atmosférica es mayor que la absoluta, hay vacío.
Radiación	Es la transmisión de calor en forma de energía radiante o en ondas de un cuerpo a otro, a través de un espacio.
Temperatura	Índice de energía interna relativa a la masa.

RESUMEN

En el trabajo de graduación que a continuación se presenta, se desarrolla la propuesta y estudio del mejoramiento de operación del sistema de almacenamiento de condensado, en el tanque de alimentación de las calderas del Hospital Roosevelt.

El primer capítulo consta de una breve descripción acerca del sistema en mención, con énfasis en el retorno de condensado con que cuenta.

En el capítulo siguiente se lleva a cabo el servicio técnico profesional que se realizó para el estudio y propuestas del proyecto. Se parte de las calderas y su sistema de retorno de condensado, como estudio esencial, ya que con ella se conocen las dimensiones y forma, luego se procede al estudio de cada factor para llevar a cabo las propuestas de mejoramiento, en este caso de la red de vapor, y posteriormente el mejoramiento para almacenaje del condensado.

El trabajo cuenta al final con las conclusiones a que se llegó y las recomendaciones que hace el estudiante, para la mejor construcción del proyecto.

OBJETIVOS

General

Mejorar el sistema de operación en el tanque de alimentación y red de vapor para aprovechar el condensado de retorno, tomando en cuenta su estado actual, describiendo las carencias y proponiendo soluciones para optimizar el servicio que presta.

Específicos

1. Realizar el diagnóstico del sistema de operación de la recuperación de condensado, en el tanque de alimentación, evaluando su situación, describiendo cada uno de los componentes para su funcionamiento y sus carencias.
2. Colaborar para que el hospital cuente con un informe que brinde la información necesaria, para la elaboración de medidas que ayuden al aprovechamiento del agua de alimentación en las calderas, y el funcionamiento de las mismas.

INTRODUCCIÓN

La utilización de las calderas como suministro de energía calorífica para la producción de vapor, es uno de los procesos en la industria hospitalaria de gran índole para el país, ya que proporciona un alto porcentaje de los suministros básicos para la operación y buen funcionamiento del hospital.

La necesidad de creación de vapor, tiene cada día mayor demanda y cada vez los costos son más elevados, es por eso que se debe tener en cuenta muchos factores, para economizar de mejor forma todas las provisiones necesarias para que se lleve a cabo en dicho proceso.

Con el propósito de colaborar en esta área de la ingeniería mecánica, se desarrollará el presente trabajo basado en el análisis para el mejoramiento del ahorro de condensado en las calderas.

En la primera parte se encontrarán generalidades del funcionamiento adecuado así como la descripción del sistema actual, la segunda parte se compone de las mejoras que en el transcurso del tiempo se podrán implementar, de acuerdo a los requerimientos y disposición de recursos en el hospital. También se ha prestado un servicio gratuito al departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital Roosevelt, como un apoyo que la Universidad de San Carlos de Guatemala, brinda a través de los estudiantes egresados de la Facultad de Ingeniería.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la institución

Actualmente, el Hospital Roosevelt atiende mediante sus empleados aproximadamente (personal médico, paramédico y administrativo) a un gran número de la población guatemalteca, tanto en la Consulta Externa como en el área de Servicios de Emergencia.

Hoy en día brinda al pueblo de Guatemala sus servicios a través de los diferentes departamentos y secciones médicas: medicina interna, cardiología , neurología , neumología, clínica de infecciosas, endocrinología , dermatología, hemato-oncología, reumatología, gastroenterología, cirugía, departamento de estomatología, pediatría, anestesia, maternidad, ginecología, medicina nuclear, medicina física y rehabilitación, oftalmología, neurocirugía, e ingeniería y mantenimiento. Alrededor del Hospital Roosevelt se han creado recientemente las unidades de cirugía cardiovascular (UNICAR), y oncología pediátrica.

Así mismo, según convenio entre la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el hospital da asistencia docente a los alumnos de la Facultad de Ciencias Médicas, además de participar por medio de sus programas de postgrado reconocidos, en el entrenamiento de residentes en todos los departamentos clínicos, así mismo colabora con la Escuela Nacional de Enfermería y adiestra a auxiliares de enfermería.

1.1.1 Reseña histórica

En el año 1942 se creó la Agencia del Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, denominada “Instituto de Asuntos Interamericanos”, con los objetivos primordiales de fomentar el bienestar general y afianzar las relaciones amistosas entre los países de América.

El Instituto de Asuntos Interamericanos celebró con el Gobierno de Guatemala por medio de la subsidiaria el “Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública” (SCISP) el 14 de agosto de 1942, un contrato por el cual además de algunos otros trabajos de salud y saneamiento, se comprometía a construir un hospital de 300 camas en la ciudad de Guatemala, aportando la suma de medio millón de quetzales y toda la parte técnica y administrativa que necesitara tal construcción.

De esta manera se escogió el lugar adecuado para construir el nuevo hospital. El proyecto se ubicó en los terrenos de la antigua finca “La Esperanza”, hoy zona 11 de la ciudad capital y se inicia el proyecto.

En ese momento, contó el hospital con un edificio principal de cuatro pisos, edificios anexos para maternidad y pediatría, edificios para mantenimiento, lavandería y transportes y además áreas amplias para parqueo. Idealmente el Hospital Roosevelt, debería considerarse como un centro especializado, al cual se refieren pacientes para estudios y tratamiento específicos. Sin embargo, debido a la creciente demanda de servicios por parte de la población, se ve obligado a satisfacer demandas asistenciales a todo nivel, recibiendo diariamente cualquier tipo de pacientes.

1.1.2 Naturaleza del área de mantenimiento

El área de mantenimiento fue creada con el fin de satisfacer las necesidades del cuidado primordial de la infraestructura y maquinaria con que cuenta el hospital, la importancia de este departamento se ve claramente en cubrir las necesidades que tiene el hospital de mantenerse en condiciones de servicio continuo y seguro.

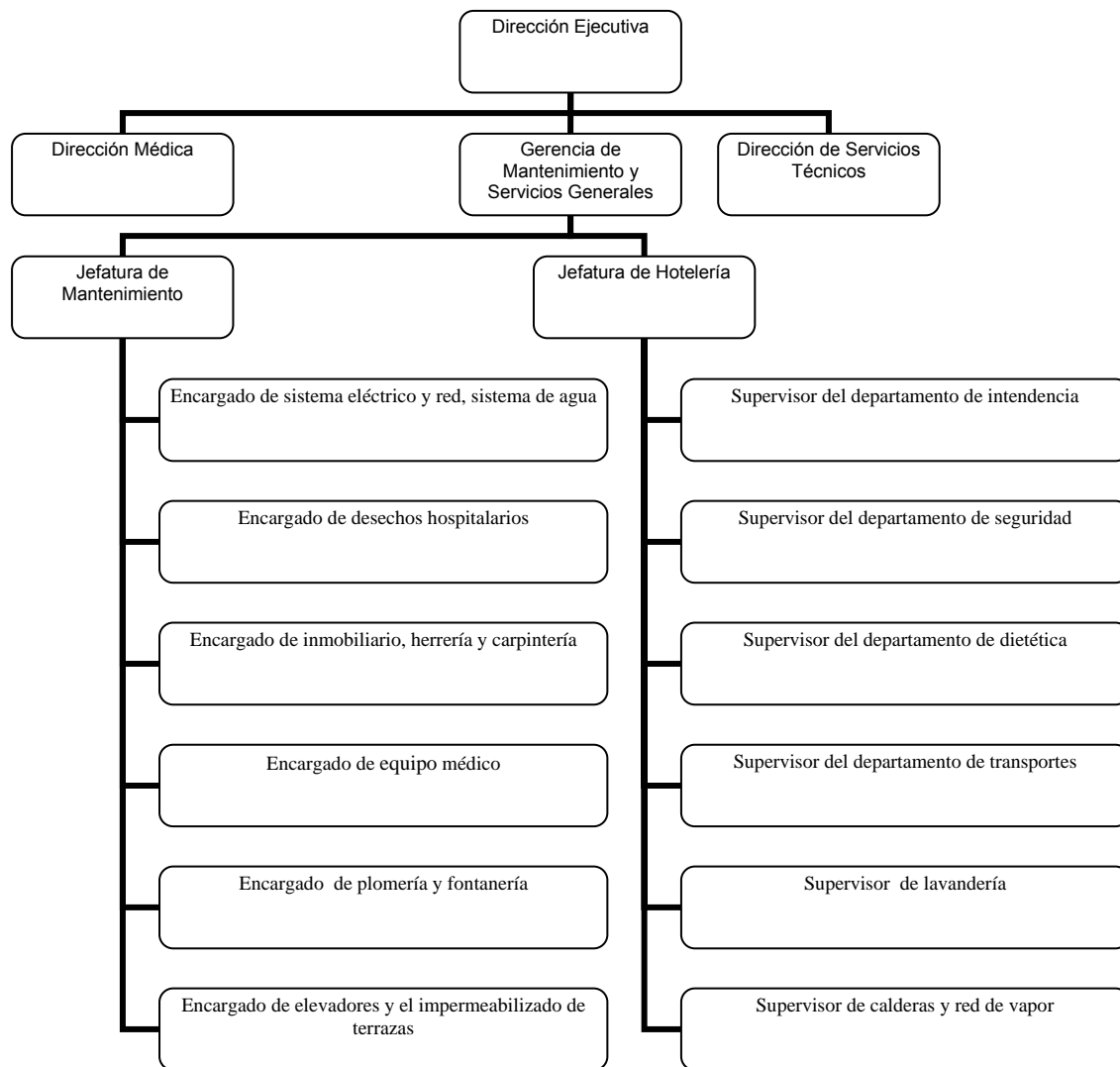
1.1.2.1 Misión y visión

La misión del departamento de Ingeniería y Mantenimiento, es conservar la calidad del servicio que prestan las máquinas, equipos, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y económicas a los pacientes y trabajadores del hospital, reconociendo que el servicio es lo más importante.

La visión es ser el departamento de mantenimiento hospitalario más completo de Guatemala, trabajando en equipo, con honradez, calidad, eficiencia, efectividad y brindando un servicio de excelencia al pueblo de Guatemala.

1.1.2.2 Organigrama

Figura 1. Organigrama del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, Hospital Roosevelt



FUENTE: Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, Hospital Roosevelt. **Organigrama**

1.2 Estudio de mejoramiento

En el Hospital Roosevelt se planteó la problemática de que las calderas no poseen un sistema de recuperación de condensado eficiente y por consiguiente existen muchas pérdidas de agua tratada químicamente, el propósito del presente trabajo es realizar las propuestas para mejorar la estructura e instalaciones de la red de vapor que se requiera.

1.2.1. Importancia del aprovechamiento del condensado

Actualmente se consume grandes cantidades de agua en la industria hospitalaria.

La disponibilidad de agua potable para consumo diario se va tornando en un problema muy serio para las generaciones actuales y futuras, y en esta competencia entra a formar parte, también, el agua que se consume en los procesos hospitalarios.

El hospital depende en alto grado de un abastecimiento adecuado de agua que se utiliza como componente de productos, ó de manera indirecta en el control del proceso de producción de vapor.

El uso del agua en este tipo de servicios depende de varios factores, siendo los más importantes los vinculados con la disponibilidad, calidad y temperatura de la misma. De esta forma es posible establecer las diferentes categorías siguientes:

Uso del agua vinculada directamente con el proceso productivo:

- Agua de alimentación a calderas

- Vapor consumido en lavandería.
- Vapor consumido en autoclaves y dietética
- Escapes a la atmósfera por válvulas, tuberías y equipos de proceso
- Limpieza y desinfección de sistemas mediante equipos auxiliares.
- Preparación de productos químicos para calderas

Uso de agua no vinculada al proceso productivo:

- Sistemas sanitarios y de higiene de recursos humanos auxiliar al proceso

Las causas que influyen ó determinan el consumo de agua y condensados en un hospital son de diferente naturaleza, y algunas de ellas están estrechamente relacionadas, como lo son:

- Estado del aislamiento térmico.
- Estado del sistema de recuperación, conducción y almacenamiento del condensado.
- Control de agua para limpieza y enfriamiento.
- Presión del vapor de escape.
- Limpieza de los equipos.
- Control del agua para filtros.
- Temperatura del agua de alimentación a calderas y calidad de la misma.
- Buena selección y mantenimiento del sistema de trampas de vapor.
- Sistema de control para un mayor aprovechamiento de los condensados de evaporadores y calentadores.
- Control de las pérdidas de vapor a la atmósfera.
- Buen punto de ajuste de las válvulas de seguridad.
- Separación de los tanques de almacenamiento de condensado según la calidad de los mismos.

- Contaminación de los condensados por factores de diseño u operacionales.
- Empleo de condensados ajenos a la finalidad prevista.
- Falta de control en los sistemas de toma de muestras.

Los problemas operacionales más frecuentes son los que se especifican a continuación:

- El desaprovechamiento de las aguas condensadas.
- La instalación de autoclaves, marmitas o lavadoras y secadoras de una capacidad excesiva, lo que puede ocasionar una mayor demanda de vapor.
- Indisciplina tecnológica, descuido y falta de control en la operación de calderas.
- Uso inadecuado y descuido del vapor en los equipos de procesos.

Estos problemas operativos pueden influir a diferente grado sobre los niveles de consumo de condensado.

1.3 Diagnóstico situacional

En las instalaciones, se observa las posibles fallas que ocurren en el sistema de vapor, las cuales son:

- Tubería, múltiple de admisión, válvulas y filtros en malas condiciones.
- La red de vapor no cuenta con protección térmica.

- Las trampas de vapor son muy deficientes ya que llevan trabajando muchos años sin darles un buen servicio, además la mayoría de las que se encuentran en los by-pass ya se les venció su tiempo de vida dejando pasar vapor a líneas de retorno de condensado.
- Se cuenta con tres tanques para agua caliente, de los cuales dos se encuentran con los serpentines dañados y en reparación, así mismo dejando pasar agua caliente para la línea de retornos de condensados.
- El guardanivel eléctrico que contaba el tanque de alimentación de agua a las calderas para detectar el nivel de condensado y provocar el suministro de agua fría, se encuentra desconectado y en muy malas condiciones.
- Es importante rescatar todos los recursos posibles y rediseñar la red para mejorar de una forma integral el sistema de distribución de vapor dentro del hospital.
- Actualmente se cuenta con un sistema de distribución de vapor descuidado por el tiempo.

1.3.1. La caldera

La caldera es un intercambiador de calor constituido por un cuerpo cilíndrico de metal hermético. El calor de una caldera se obtiene de la combustión del aire con el combustible.

El hospital cuenta con tres calderas pirotubulares para generar vapor, estas calderas debían ser operadas de forma alterna, es decir si recibían un mantenimiento cada seis meses se empezaba a trabajar la caldera 1 luego la caldera 2 y por último la 3. Pero lamentablemente, la caldera 3 colapsó y no se encuentra en funcionamiento.

En la actualidad, trabajan 2 calderas en forma óptima, éstas reciben su mantenimiento cada seis meses y trabajan de forma alterna.

En el estudio se ha tomado en cuenta únicamente los datos registrados de la caldera 1, debido al tiempo de operación de la misma.

Tabla I. Especificaciones técnicas de la caldera 1

Marca	Cleaver & Brooks
Tubería de vapor	3" cedula 40
220 voltios	74 Amperios
Motor soplador	15 Hp
Calentador de aceite	7.5 KW
Fecha de inicio	junio 20 de 1974
Entrada	12,553,000 BTU/hora
Modelo	CB – 600 – 300
No. De pasos	Cuatro pasos
Ancho	2.6162m
Largo	5.7658m
Alto	2.6924m
Combustible	Bunker

La caldera que actualmente se encuentra funcionando provee vapor a 80psig de presión, con 400° F de temperatura en la chimenea y con una presión en la cámara de fuego de 14 psi. Opera con un mando de control CB 20.

En la salida de vapor de la caldera existen fugas, donde se encuentra la junta de la caldera con la tubería que llega al múltiple de admisión y distribución principal, en el cuarto de calderas.

Los controles de presión de operación (presión de operación y presión moduladora) están funcionando pero se encuentran en mal estado.

El panel de control se encuentra descuidado en cuanto al mantenimiento de los circuitos eléctricos y limpieza de la tarjeta principal, pero desarrollan su funcionamiento.

Con las pruebas realizadas, se puede notar por momentos un elevado exceso de aire en las calderas. El aire enfría la llama y al horno simultáneamente. Ambos factores, el aumento de flujo de aire y la disminución de temperatura de llama afectan distintamente los mecanismos por medio de los cuales el calor se transmite a los tubos de la caldera, lo cual trae como consecuencia el aumento de los gases de chimenea. Esto contribuye a disminuir la eficiencia de combustión y de la caldera en general.

1.3.1.1. Guarda nivel para caldera

El nivel del agua se podría chequear con un indicador común y corriente y monitorearlo visualmente, pero el ser humano tiende a fallar y a descuidarse.

En las calderas del hospital se encuentran dispositivos de seguridad McDonell & Miller con presiones de operación hasta de 150 psi ha sido diseñado para controlar el nivel de agua activando y desactivando automáticamente la bomba de agua de alimentación según sea el caso de necesidad o de exceso de agua.

Este dispositivo de seguridad, juega un papel muy importante en la seguridad a tomar en cuenta en la operación de las calderas. Se ha estimado un alto porcentaje de explosiones de calderas por falta de agua, lo que ocasiona que la temperatura y presión dentro de la caldera se eleven a un máximo ocasionado que la caldera explote, es por ello que el control del nivel del agua de una caldera es de suma importancia.

Además tiene la función de apagar el ventilador de la caldera cuando detecta un bajo nivel de agua de alimentación, con lo cual la misma dejará de funcionar, eliminando así cualquier riesgo de explosión.

1.3.1.2. Potencia Teórica

Tomando como base los datos de las plaquetas, las calderas tienen una potencia de 300 BHp. La cantidad de calor en BTU necesaria para evaporar 34.5 lb de agua por hora a 212° F, es igual a 33,472 BTU/h, el caballaje descrito anteriormente implica que la capacidad de generar vapor de cada caldera es de 10,041,600 BTU/h. Convirtiendo éste valor en calorías, tenemos que 1BHp es igual a 8.535 Kcal./h de donde cada caldera tiene la capacidad de 2,560,500 Kcal./h.

1.3.1.3. Presión

Las calderas cuentan con una presión máxima de diseño de 150 libras por pulgada cuadrada (PSI), la presión de trabajo es de 80 libras por pulgada cuadrada.

Las calderas están diseñadas, bajo el concepto que una de ellas se mantendrá en reserva y de suficiente capacidad para cumplir con la carga instalada de consumo de vapor.

1.3.1.4. Combustible

El horario de producción de vapor es de 5:00a.m. a 1p.m., cumpliendo con 8 horas de trabajo diarias de lunes a domingo. El consumo teórico de la caldera es de 82.5 galones por hora de bunker, pero realmente se consume en 8 días de trabajo un total de 4,000 galones promedio, en una hora el consumo es de 62gal/h de bunker dependiendo de la demanda.

1.3.1.5. Eficiencia

Es la razón entre el calor absorbido por el agua de alimentación al convertirse en vapor dentro de la caldera y la energía total disponible del combustible suministrado, es decir, es la medida del aprovechamiento del combustible por la caldera al generar determinada cantidad de vapor.

Las pérdidas de eficiencia en la caldera se originan por los siguientes factores

- Calor arrastrado a la chimenea por los gases calientes de combustión.
- Combustible no quemado y productos de una combustión incompleta.
- Calor latente del vapor del agua presente en los gases de escape, resultado de la combustión del hidrogeno y del combustible.
- Calor perdido por la caldera a traves de su aislante térmico (el calor irradiado al ambiente y al aire que circula alrededor de la caldera).
- Calor de la caldera que transporta la purga.

Las mejoras en la eficiencia en una caldera son el resultado de reducir las pérdidas de energía térmica principalmente en gases de chimenea, en agua de purgas y en transferencia de calor.

El humo debe de ser transparente y claro. La temperatura de los gases debe ser alrededor de los 400° F.

La eficiencia máxima se obtiene cuando la combustión es completa y se reducen al mínimo las pérdidas de calor descritas anteriormente, y se expresa frecuentemente como el 100% menos el porcentaje de pérdidas totales.

Los gases de combustión constituyen la mayor perdida energética de calor y a el se adicionan las perdidas por vaporización del agua contenida en el combustible así como el agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible.

1.3.2. Tubería

En el sistema de la red de vapor se utiliza tubería de hierro negro de 3", cédula 40 para suministro de vapor. Se encuentran roscados con coplas uno con el otro en sus extremos. La red cuenta con una longitud de tubería de 490 metros para suministro de vapor hasta las líneas de distribución, y el número de elementos fueron determinados por las condiciones de diseño.

Para el buen funcionamiento del sistema, las tomas de vapor y las entradas de condensado se hacen por la parte superior de la tubería principal.

Por condiciones de diseño tienen el 0.5% de pendiente en dirección a la trampa de vapor mas cercana.

El estado actual de la tubería se torna cada vez más crítico por la falta de mantenimiento hacia las mismas. Se logra observar que el 46% de la tubería se encuentra deteriorada, es muy posible que pueda colapsar en muy pocos años.

Figura 2. Tubería dañada y fuga de vapor



FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

1.3.3. Aislamiento térmico

Este material se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor, reduciendo estas pérdidas en los elementos que integran el sistema de vapor, tales como calderas, tuberías, accesorios, tanques y marmitas.

Los aislamientos se emplean tanto en líneas operando a altas temperaturas como aquellas que operan a bajas temperaturas.

También se emplean para proteger al personal de superficies sujetas a temperaturas mayores de 60 °C.

Figura 3. Aislamiento térmico dañado



FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

Únicamente el 10.40% de la tubería cuenta con material refractario, esto quiere decir que la mayor parte de la tubería no se encuentra cubierta por su aislamiento térmico y esto produce pérdidas de calor importantes al proceso de generación de vapor.

Antes de aislar un sistema se deben resolver dos incógnitas: ¿Qué clase de aislamiento es necesario y en qué cantidad? Al instalar aislamiento se ahorran gastos de inversión porque de esta manera se reduce el tamaño y la capacidad del equipo de calentamiento.

Para aislar un sistema adecuadamente se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Costo del combustible.
- Eficiencia de la caldera.
- Temperatura de operación.

- Localización.
- Diámetro de la tubería.
- Largo de la tubería.

Existen tres maneras en las cuales se transfiere el calor a través de los materiales aislantes: conducción, convección y radiación

Una conductividad térmica baja es la propiedad que distingue a un aislante térmico. La conductividad térmica está definida como la razón de calor que fluye a través de la unidad de área de una sustancia bajo la influencia de temperatura en la dirección perpendicular al área. Se expresa en BTU/h.

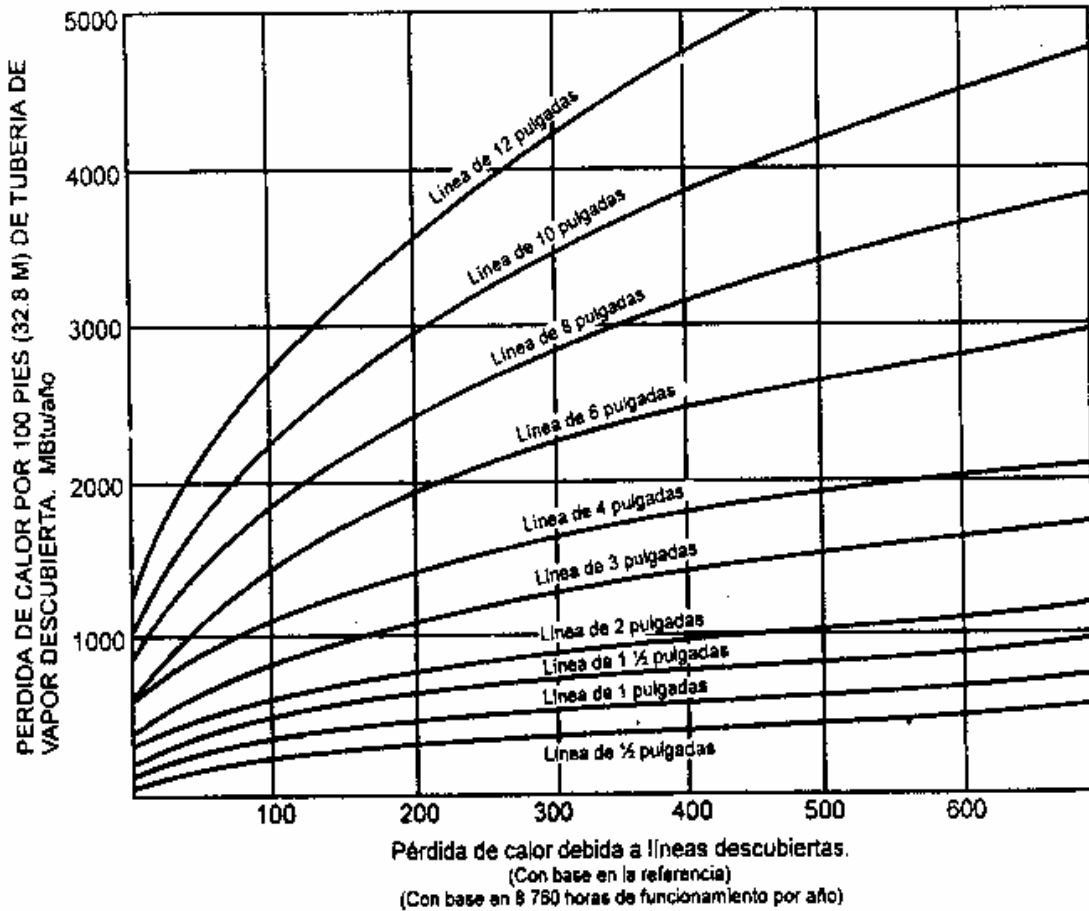
Actualmente en el tramo que posee protección, se utilizan cañuelas de fibra de vidrio para el aislamiento del sistema de vapor.

En la red de vapor de los 490 metros de tubería de vapor, existe 438.7 metros que no se encuentra insulada, ocurre lo mismo para la tubería de retorno de condensado. De acuerdo con la figura 4, el calor debido a esta circunstancia representa las pérdidas siguientes:

- Línea de vapor, 3" de diámetro = pérdida de 2,000 MBTU/año
- Línea de retorno de condensado, 2" de diámetro = pérdida de 1,600 MBTU/año

Lo cual es una cifra alta que significa costos de producción de vapor muy grandes, únicamente por descuidar ésta área tan importante.

Figura 4. Pérdida de calor en MBTU/año por cada 100 pies (32.8m) de tubería de vapor descubierta.



FUENTE: Cek de Centroamérica, Minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.

Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados, tales como:

- Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con mayor desgaste y mayor mantenimiento.

- Ocurre mayor desgaste de tuberías por el transporte de condensados.
- Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente en las tuberías mal drenadas.

1.3.4. Cheques y válvulas

Los cheques y válvulas de paso, se encuentran en malas condiciones debido al tiempo de operación de las mismas.

Se puede observar que algunas válvulas tipo cheque ya no cumplen su función y dejan pasar el vapor de regreso a las calderas que no se encuentran funcionando, calentando las mismas y existiendo fugas de vapor dentro del mismo sistema de distribución de vapor con el múltiple de admisión.

Los cheques se ven de la misma forma que la tubería, corroída por el tiempo y sus horas de operación recomendadas ya fueron superadas.

El mayor problema ocurre en los sistemas by-pass donde se encuentra el sistema de trampeo porque dejan pasar vapor a la línea de condensado.

En cuanto a la seguridad que cuenta la caldera se observan dos válvulas, que cuyo objetivo es liberar la presión, en caso de que esta sobrepase un nivel extra al de trabajo. Dichas válvulas tienen las siguientes características:

- Válvulas de seguridad con cuerpo de bronce, asiento de metal, resorte de acero inoxidable, conexiones roscadas de 1 ½" tipo macho a la entrada y 2" tipo hembra a la salida. Diseñada para dispararse a una presión de ajuste de 125psi, capacidades para descargar 5,592 lb/h de vapor a la presión de ajuste.
- Presión máxima de operación 250 psi y una temperatura de 60 a 460 grados Fahrenheit.

1.3.5. Instrumentos de medición

Las calderas del hospital cuentan con los instrumentos de control y medición generales como lo son el termómetro para la temperatura del agua de alimentación, termómetro para medir la temperatura de los gases de chimenea, manómetro para medir la presión de gases de chimenea, manómetro para medir la presión de trabajo, manómetro para presión de bunker y manómetro de la cámara de combustión. Estos instrumentos se encuentran en buenas condiciones de operación.

1.3.5.1. Termómetro para el agua de alimentación

El tanque para almacenamiento de agua de alimentación y retorno de condensado, cuenta con un termómetro cuyas características son las siguientes:

- Carátula de 3", caja y vástago de acero inoxidable 304, largo del vástago de 7", diámetro de vástago de ¼", carátula de vidrio plano, conexiones roscadas de ½", rango dual de 0 – 300 grados centígrados (32 – 572 grados Fahrenheit), precisión de +/- 1%.

- Por lo regular se mantiene entre 70 a 80 grados Centígrados (158 – 176 grados Fahrenheit), precisión de +/- 1%.

1.3.5.2. Termómetro para gases de escape

Cada caldera cuenta con su propio termómetro para medir la temperatura de los gases que salen por la chimenea, tienen las siguientes características:

- Termómetro con carátula de 3", caja y vástago de acero inoxidable 304, carátula de vidrio plano, rango dual de 0 – 1000 grados centígrados (32 – 1832 grados Fahrenheit), precisión de +/- 1%, mecanismo para recalibrar aguja.
- Se encuentra entre los 204 grados Centígrados (400 grados Fahrenheit).

1.3.5.3. Manómetro para gases de escape

La caldera cuenta con un manómetro para medir la presión de salida de los gases en la chimenea, cuyas características son las siguientes:

- Carátula de 9" de diámetro, caja y vástago de acero inoxidable 304, carátula de vidrio plano, rango dual de 0 – 300psi (0 – 2000 KPa).
- Regularmente, marca una presión de 87psi (600 KPa)

1.3.5.4. Manómetro para presión de trabajo

Se cuenta con un manómetro para medir la presión de salida de vapor de la caldera, cuyas características son las siguientes:

- Carátula de 3" de diámetro, caja y vástago de acero inoxidable 304, largo del vástago 3", diámetro del vástago de 1/4", carátula de vidrio plano, rango dual de 0 – 200psig (0 – 1378.9 KPa).
- Marca una presión de trabajo de 75 a 80 psi (517 – 551KPa)

1.3.5.5. Manómetro para presión de combustible

El manómetro para verificar la entrada de bunker a la cámara de combustión, cuenta con las características siguientes:

- Carátula de 3" de diámetro, caja y vástago de acero inoxidable 304, largo del vástago 1", diámetro del vástago de 1/4", carátula de vidrio plano, rango dual de 0 – 60psi (0 – 413.68 KPa).
- Marca una presión de 30psig (206.84KPa) en operación.

1.3.5.6. Manómetro para la presión de la cámara de combustión

Las características son:

- Carátula de 3" de diámetro, caja y vástago de acero inoxidable 304, carátula de vidrio plano, rango dual de 0 – 60psi (0 – 413.68 KPa).
- Se encuentra marcando una presión de 14 a 16 psi (96.5 a 110.3KPa)

1.3.6. Sistema de recuperación de condensado

1.3.6.1. Trampas de vapor

Una trampa de vapor es una válvula automática cuya misión es descargar condensado sin permitir que escape vapor vivo.

El funcionamiento de éstas consiste en drenar los condensados, manteniendo las condiciones de presión y temperatura del vapor requeridos en los procesos. Eliminar el aire y otros gases no condensables, el aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Se debe tener en cuenta que la presencia de oxígeno y bióxido de carbono son corrosivas en presencia de condensado y evita pérdidas de vapor de alto contenido energético, y de agua del sistema.

La eficiencia de cualquier equipo o instalación que utilice vapor está en función directa de la capacidad de drenaje de condensado, por ello es fundamental que la purga de condensados se realice automáticamente y con el diseño correcto.

Hay dos tipos de falla, que han sido encontradas en las trampas de vapor:

- Falla de posición cerrada, que es notable por el pobre comportamiento del equipo debido a inundaciones con condensado. Esta clase de falla pasa desapercibida en las tuberías de vapor.
- Falla en la posición abierta, que causa pérdidas de vapor vivo. Las trampas frecuentemente descargan a un sistema de retorno de condensados y el vapor vivo que sale por el tanque de almacenamiento puede indicar problemas, no obstante es difícil localizar la trampa defectuosa.

1.3.6.1.1. Trampas de cubeta invertida

Las trampas de cubeta invertida han mostrado pérdidas menores bajo condiciones de baja carga. Esto se debe a las pérdidas de vapor a través del orificio de venteo.

El aislamiento de la trampa de cubeta invertida afectará su operación lentamente, lo cual en algunos casos puede ocasionar inundaciones; normalmente este tipo de trampas no se aíslan.

Figura 5. Fotografía trampa de vapor de cubeta invertida



FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

Las trampas de cubeta invertida fallan, por lo regular, en la posición abierta, dando como resultado un sonido continuo similar al del vapor cuando pasa por la trampa; la cubeta también puede ser oída, cuando golpea con el cuerpo de la trampa.

Tabla II. Especificaciones técnicas de trampas de vapor de cubeta invertida

Marca	Spirax Sarco
Tipo	Cubeta invertida
Medida	$\frac{3}{4}$ " Npt
Presión máx.	300psi
Temp. Max	600° F

FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

Las trampas de vapor se encuentran en malas condiciones, el sistema de distribución de vapor y retorno de condensado cuenta con 8 trampas de vapor de este tipo, de las cuales únicamente una es la más reciente y cumple ya 6 años de trabajo constante, las demás se encuentran fallando, algunas en posición cerrada y la mayoría en posición abierta.

1.3.6.1.2. Trampas termodinámicas

Las trampas termodinámicas pierden vapor en condiciones de baja carga. El condensado a una temperatura cercana a la del vapor produce vapor instantáneo (flash al salir por el orificio, causando que la trampa cierre).

El condensado está en el lado de la corriente de salida y la inundación asegura que no se pierda vapor a través de la trampa, pero el calor es perdido por el bonete de la válvula y la trampa abrirá periódicamente.

En condiciones de baja carga el condensado en la corriente de salida puede llegar a escapar, requiriendo la trampa vapor vivo para cerrarse.

Aunque mucho dependen de la temperatura ambiente, las pérdidas normalmente son alrededor de 0.5 Kg./h y pueden ser el doble en casos críticos.

Sin embargo, las pérdidas pueden ser reducidas por ajuste de una cubierta aislante en la parte superior de la trampa.

En cualquier caso, cuando la carga de condensado se incrementa, las pérdidas de radiación son mínimas, debido al pequeño tamaño de la trampa, y las pérdidas posteriores no son probablemente, superiores a 0.25 Kg./h.

Cuantificar los requerimientos de energía de las trampas de vapor no es fácil, hay muchas variables involucradas, tales como las condiciones ambientales, temperatura y presión de vapor, y la carga en el sistema. El comportamiento de las trampas también dependerá de su tamaño y diseño.

Figura 6. Fotografía trampa de vapor termodinámica



FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

Las trampas termodinámicas generalmente fallan en la posición abierta, permitiendo el paso continuo de vapor. Si la trampa opera normalmente el detector de ultrasonido puede registrar el sonido del disco, en forma cíclica de 4 a 10 veces por minuto.

Las pruebas de falla también se pueden realizar utilizando un destornillador para hacer la prueba de sonido, si esta no cumple las expectativas se debe cerrar la llave de paso hacia la trampa para luego retirar la tubería a la salida de la trampa y así al abrir la llave de paso para la trampa, aquí se observa el paso de condensado o las fallas que pueda tener.

Tabla III. Especificaciones técnicas de trampas de vapor termodinámicas

Marca	Hoffman speciality
Tipo	termodinámica
Medida	3/4 Npt
Presión máx.	500psi
Temp. Max	750° F
Serie	McDonell & Miller

FUENTE: Hospital Roosevelt, red de vapor.

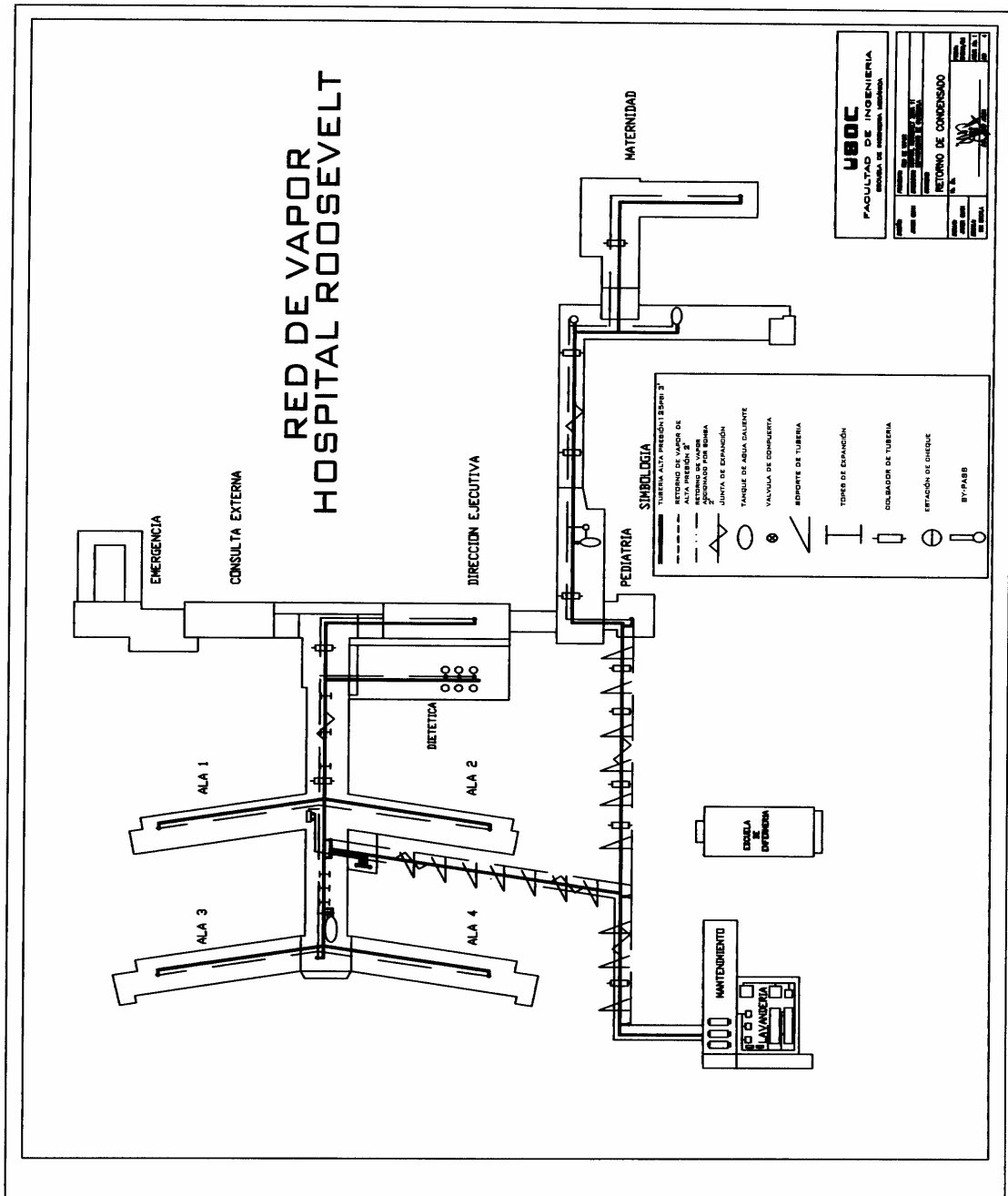
Las trampas termodinámicas que se encuentran, están condiciones no aptas para desarrollar su trabajo, la red de distribución de vapor cuenta con 10 trampas de vapor de éste tipo, las cuales únicamente 7 están en buenas condiciones de operación, las demás se encuentran fallando, la mayoría en posición abierta.

1.3.6.2. Diagrama general de retorno de condensado

En el diagrama que se presenta a continuación, se observa la distribución de la tubería hacia los servicios que presta el hospital utilizando vapor. Se ve la posición de las trampas en los by-pass y los tanques de agua caliente, de los cuales los serpentines de dos tanques están fallando y es muy posible que aparte de condensado se esté retornando agua caliente almacenada en estos tanques.

La distancia que se recorre de tubería para distribución de vapor es muy amplia y es de gran índole destacar lo importante que es mantener en buenas condiciones la infraestructura de tubería y accesorios.

Figura 7. Plano de distribución de vapor y retorno de condensado



1.3.6.3. Tubería de retorno de condensado

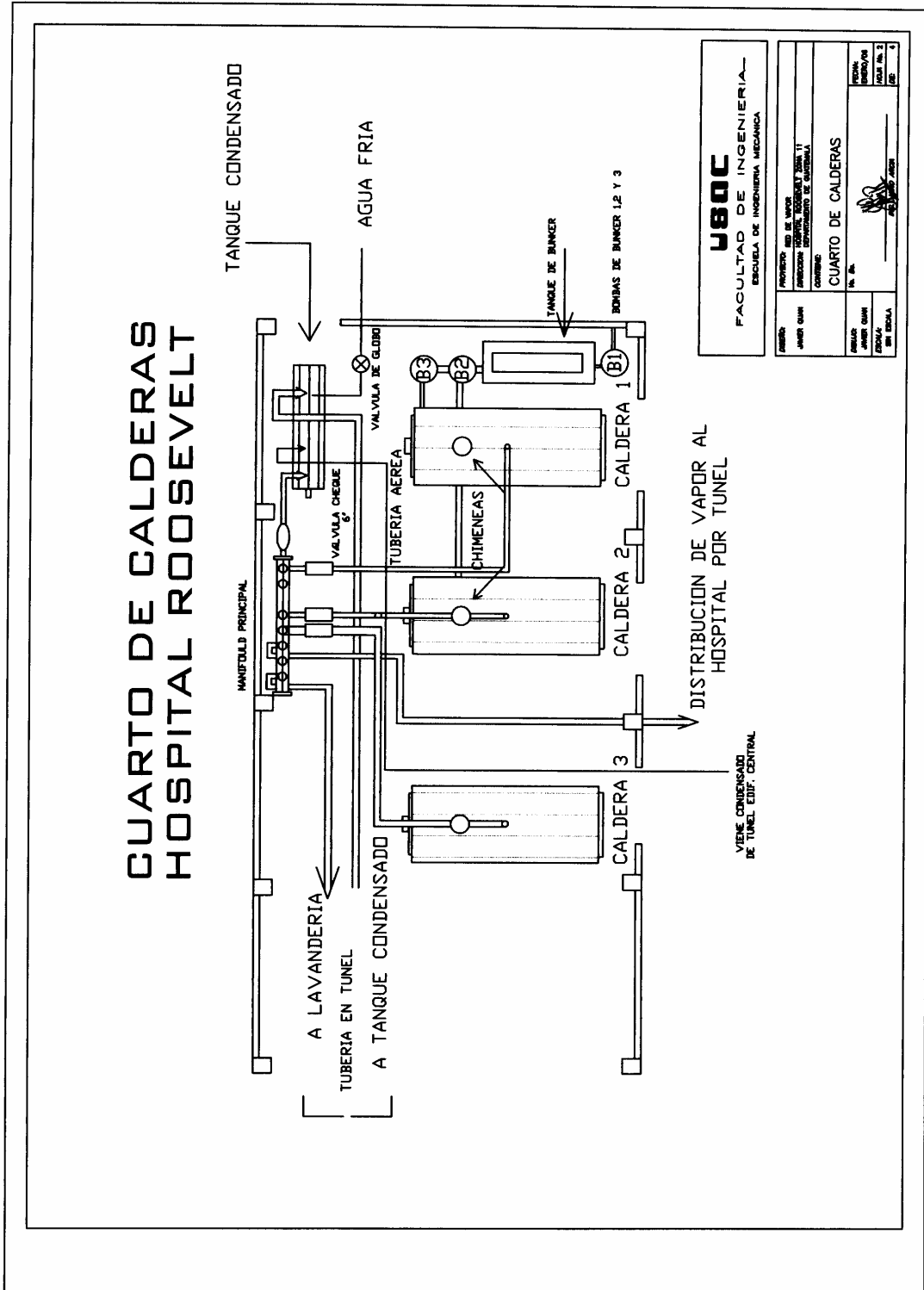
La tubería de retorno de condensado es hierro negro de 2" de diámetro, cédula 40. La tubería se encuentra roscada con coplas una con la otra en sus extremos. La longitud de tubería de retorno utilizada para los servicios del edificio central del hospital es de 490 metros.

El estado actual de la tubería es cada vez más crítico por la falta de mantenimiento hacia las mismas. Se observa que el 46% de la tubería se encuentra deteriorada, y podría colapsar en muy pocos tiempo.

1.3.6.4. Diagrama del cuarto de calderas

En el cuarto de calderas se encuentran las tres calderas anteriormente mencionadas, de las cuales solamente dos están siendo operadas por intervalos de tiempo de seis meses; el múltiple de de admisión, que se encarga de distribuir el vapor hacia las líneas que terminan en los diferentes servicios; las válvulas de paso, encargadas de no retornar el vapor hacia las calderas, son de 6" y a simple vista se observa que se encuentran en malas condiciones al ver que en las calderas fuera de servicio se escapa vapor; el tanque de alimentación, que contribuye a almacenar y proveer agua a las calderas; el tanque de bunker con su respectivo equipo de bombeo, el sistema de suministro de agua fría hacia el tanque, el cual cuenta únicamente con una válvula de globo para su paso y regulación.

Figura 8. Cuarto de calderas



1.3.6.5. Tanque de alimentación para las calderas

El tanque es especialmente diseñado para poder recibir retornos de condensados, ya sea que el flujo de éste sea intermitente o exista diferente temperatura como presión de condensado.

Se encuentra con respiraderos hacia la atmósfera, para que no colapse de alguna forma y se dañe.

Actualmente se utiliza el tanque de una forma ineficiente ya que la capacidad de éste sobrepasa la requerida de las calderas mas sin embargo se rebalsa constantemente.

Tabla IV. Dimensiones del tanque de alimentación

Forma geométrica	cilíndrica
Largo	3m
Diámetro	1.10m
Perímetro	3.20m
Capacidad del tanque	720.43gal

FUENTE: Hospital Roosevelt, cuarto de calderas.

Actualmente no se tiene el conocimiento con certeza de si el tanque es apto para recibir el condensado de retorno, debido a que la problemática del desperdicio de condensado se encuentra enfocada hacia este sistema de almacenamiento y recuperación.

Se plantean varias hipótesis como que el tanque no posee la capacidad adecuada, si la causa del problema es la falta de la válvula solenoide. Pero la causa del desperdicio de condensado y agua de alimentación es la deficiente integración de todo el sistema de distribución y generación de vapor.

Figura 9. Tanque de alimentación



FUENTE: Hospital Roosevelt, **cuarto de calderas.**

El promedio del agua cruda que se suministra durante una jornada de 8 horas es de 2,000 galones, en consecuencia se estima que en una hora se provee un total de 250 galones al tanque de condensado para regular la temperatura. En el presente trabajo se propone mejorar el sistema para aprovechar el desperdicio de ésta agua al ingresar al tanque cuando esté se mantiene lleno.

El caudal de entrada de agua fría promedio es de 4.15 galones por minuto. Esto quiere decir que cuando el tanque está al tope se empieza a desechar condensado de retorno y éste caudal de agua, los cuales se van para un desagüe.

1.3.7. Tratamiento actual del agua de calderas

Actualmente se está tratando el agua de las calderas utilizando dos químicos, el W-2105 y W2902. Se vierte una cantidad específica de cada uno de los químicos todas las mañanas después de realizadas las purgas.

Estos químicos son depositados en la tubería que sale del tanque de agua de alimentación, en el cual se mezcla con el agua cruda y el condensado que retorna del sistema de vapor, luego la bomba de alimentación se encarga de alimentar dicha tratada hacia las calderas.

Descripción de los químicos utilizados:

- El químico W-2105 es un producto en polvo diseñado para ser utilizado como anti-incrustante y anti-corrosivo en calderas de vapor con presiones media y baja (450 – 50psi) que son alimentadas con agua dura o semidura (10 – 250ppm).
- Posee efectivos inhibidores de incrustación y acondicionadores de lodo que mantienen las superficies libres de incrustación.
- El calcio y el magnesio que forman la dureza del agua son precipitados como un lodo no adherible, el cual es removido de la caldera por la purga.
- Contiene secuestrantes de oxígeno los cuales previenen la corrosión por picadura causada por el oxígeno sobre la superficie del metal, prolongando así la vida del equipo.

Las ventajas de este químico es que es un excelente tratamiento a base de fosfatos con dispersantes, lo cual lo hace un producto adecuado para diferentes tipos de agua y no necesita secuestrantes de oxígeno o antiespumantes.

Características fisicoquímicas:

- Apariencia: polvo cristalino
- Ph al 1 %: 7.70 + / - 0.5

- El químico W-2902 es un efectivo desincrustante en operación formulado a base de compuestos orgánicos poliméricos, el cual trabaja como un dispersante de las incrustaciones adheridas a la superficie de los tubos de los intercambiadores de calor, como condensadores, evaporativos, calderas y sistemas de enfriamiento, los cuales contienen cobre, aluminio, hierro galvanizado, acero, etc. Además, es un efectivo desincrustante en operación para equipo que contengan incrustaciones a base de CaCO_3 , MgSiO_3 , $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Características fisicoquímicas:

- Apariencia: líquido transparente color ámbar
- Peso específico: 1.02 +/- 0.05
- Ph: 12.6 +/- 0.6

Figura 10. Tanque de suministro químico



FUENTE: Hospital Roosevelt, cuarto de calderas.

El tanque de suministro químico tiene capacidad para hacer cada batch de 25 galones, los cuales se consumen diarios en una jornada de 8 horas.

Tabla V. Datos de funcionamiento de la caldera

Datos de Operación	27/10/2005	10/10/2005	05/10/2005	27/09/2005	13/09/2005
Temperatura de alimentación	80° C	75° C	78° C	80° C	81° C
Temperatura de la chimenea	207° C	200° C	205° C	208° C	198° C
Presión de trabajo	85psi	82psi	86psi	83psi	80psi
Régimen de purga	1-día	1-día	1-día	1-día	1-día

FUENTE: Hospital Roosevelt, cuarto de calderas.

Tabla VI. Datos de comportamiento del agua de alimentación

Fecha	27/10/05	10/10/05	05/10/05	27/09/05	13/09/05	Estándares
Alcalinidad parcial (CaCo3)	400	100	150	300	350	300-700
Alcalinidad Total (CaCo3)	500	150	200	350	450	400-900
Alcalinidad OH (CaCo3)	300	50	100	250	250	200-800
Total sólidos disueltos	1500	1300	1350	1300	1500	máx. 2500
Cloruros (Cl)	70	60	60	60	70	máx. 200
Dureza Total (CaCo3)	0	0	0	0	0	0
Ph	10.5	10	10	10.5	10.5	10.5-11.5
Sulfito (Na ₂ So ₃)	10	10	10	12	20	20-40
Fosfato (PO ₄)	25	10	20	30	15	30-60

FUENTE: Alkemy, análisis químico.

Tabla VII. Datos de estado de la caldera

Variable	Pruebas
Dióxido de carbono (CO ₂)%	13.50
Temperatura neta (° F)	330.66
Exceso de Aire (%)	22.1

FUENTE: Hospital Roosevelt, caldera 1.

1.3.7.1. Purgas realizadas

De acuerdo al tratamiento del agua utilizada actualmente y en base a las recomendaciones del proveedor de los químicos, se purga 1 vez al día.

Los tipos de purga que se utilizan son: la de superficie, que evacua los sólidos o impurezas que posee la caldera; y la purga de fondo, que evacua los sedimentos que se depositan en la caldera.

Esto se realiza desde la el momento en que se arranca la caldera para realizar su trabajo, y así aplicar la dosis diaria de químico.

El procedimiento para purgar es el siguiente: se abren las llaves para realizar estas purgas por un tiempo máximo de 10 segundos, luego se vuelven a cerrar.

1.3.7.2. Bomba de suministro químico

Para el suministro de químico al agua de alimentación para la caldera, se utiliza una bomba de desplazamiento positivo y cuenta con émbolo y cilindro con las características de la Tabla VIII.

Tabla VIII. Datos del motor de suministro de químico

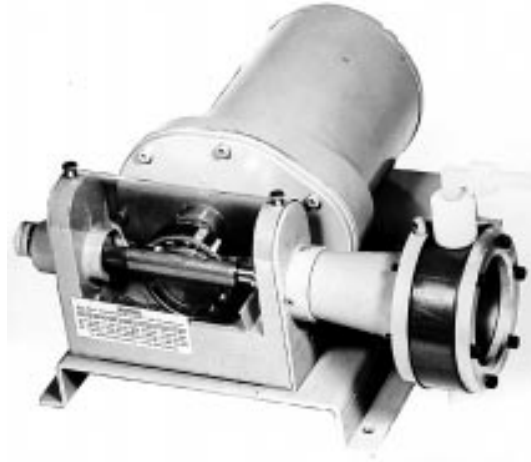
Marca	Dayton
Modelo	5K158C
Potencia	4/3HP
Velocidad	1728rev/min.
Voltaje	115
Frecuencia	60Hz
Temp. Máx.	40° C
Motor tipo	Eléctrico

FUENTE: Hospital Roosevelt, cuarto de calderas.

El motor mezclador de químico se ve claramente descuidado pero en buen funcionamiento, se debe hacer un mantenimiento que incluya la revisión de cojinetes y embobinado así mismo como una limpieza general del motor, incluyendo rotor y estator.

Éste sistema para suministro de químico es de gran ayuda ya que funciona en base a proveer una cilindrada de la cantidad apropiada del químico utilizado y puede ser regulable en cualquier caso, para regularlo solamente se debe ajustar la longitud del émbolo con las medidas correspondientes, y el mismo succionará y proporcionara esa cantidad.

Figura 11. Bomba para suministro de químico



FUENTE: Cleaver & Brooks, manual de calderas.

1.3.8. Bombas de alimentación

La bomba que posee el sistema de agua de alimentación, es una bomba centrífuga, ésta consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una carcasa. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga. La operación de ésta bomba es intermitente. Uno de los factores más importantes en el uso de bombas centrífugas ha sido el desarrollo de la fuerza eléctrica.

La bomba se utiliza para transformar la energía mecánica en energía hidráulica y el motor que le suministra potencia tiene las características de la Tabla IX.

Tabla IX. Datos del motor de bombas de alimentación

Marca	Siemens
Tipo	RGZ
Potencia	10HP
Velocidad	1745rev/min.
Voltaje	220
Amperaje	26.4
Frecuencia	60Hz
Temp. Máx.	40° C
Motor tipo	Eléctrica
No. Fases	3
Serie No.	M9810017
Peso	135lbs

FUENTE: Hospital Roosevelt, cuarto de calderas.

Actualmente existen tres bombas de alimentación para calderas, se ven en buen estado y proveen la presión necesaria para el suministro de agua a las calderas.

2. FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

2.1. Propuestas de mejoras al sistema de retorno de condensado

2.1.1 Calderas

Lo ideal para una combustión es suministrar aire seco a la temperatura próxima a la del combustible. Para que se lleve a cabo la combustión y se queme el combustible es necesario aire (oxígeno) combustible y calor. Pero para que sea perfecta se debe poseer oxígeno y combustible en proporciones exactas (estas proporciones se obtienen según sea el combustible, así como el volumen de la cámara de combustión).

Es de gran importancia determinar el dióxido de carbono contenido en los humos y el exceso de oxígeno, existen instrumentos electrónicos o dispositivos portátiles que se basan en el principio de absorción química, para la toma de datos en el presente trabajo, el analista químico de la empresa encargada de éste mantenimiento, utilizó el indicador Fryte de CO₂.

Tabla X. Porcentajes óptimos de CO₂

Categoría	Gas Natural	Diesel	Bunker C
Excelente	10% CO ₂	12,80 %CO ₂	13,8% CO ₂
Bueno	9%	11,50%	13,00%
Regular	8,50%	10%	12,50%
Malo	8% o menos	9% o menos	12% o <

FUENTE: Cek de Centroamérica, **Minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.**

A continuación se presenta un estudio para determinar el estado de la caldera.

Temperatura ambiente = 23.3° C

Temperatura de gases de Chimenea = 207° C

Diferencia de Temperatura = 183.7° C

Tabla XI. Porcentajes obtenidos de CO₂

Variable	Pruebas representativas				Promedio
Dióxido de Carbono CO ₂	13,50%	13,50%	13,60%	13,40%	13,50%

FUENTE: Caldera 1, cuarto de calderas.

Porcentaje de CO₂ = 13.5% (en buen estado de operación)

Pérdida de gases de combustión = 12.1%

Eficiencia de combustión teórica = 100% - 12.1% = 87.9%

Porcentaje de O₂ Obtenido = 4.0%

% exceso de aire 20-30%

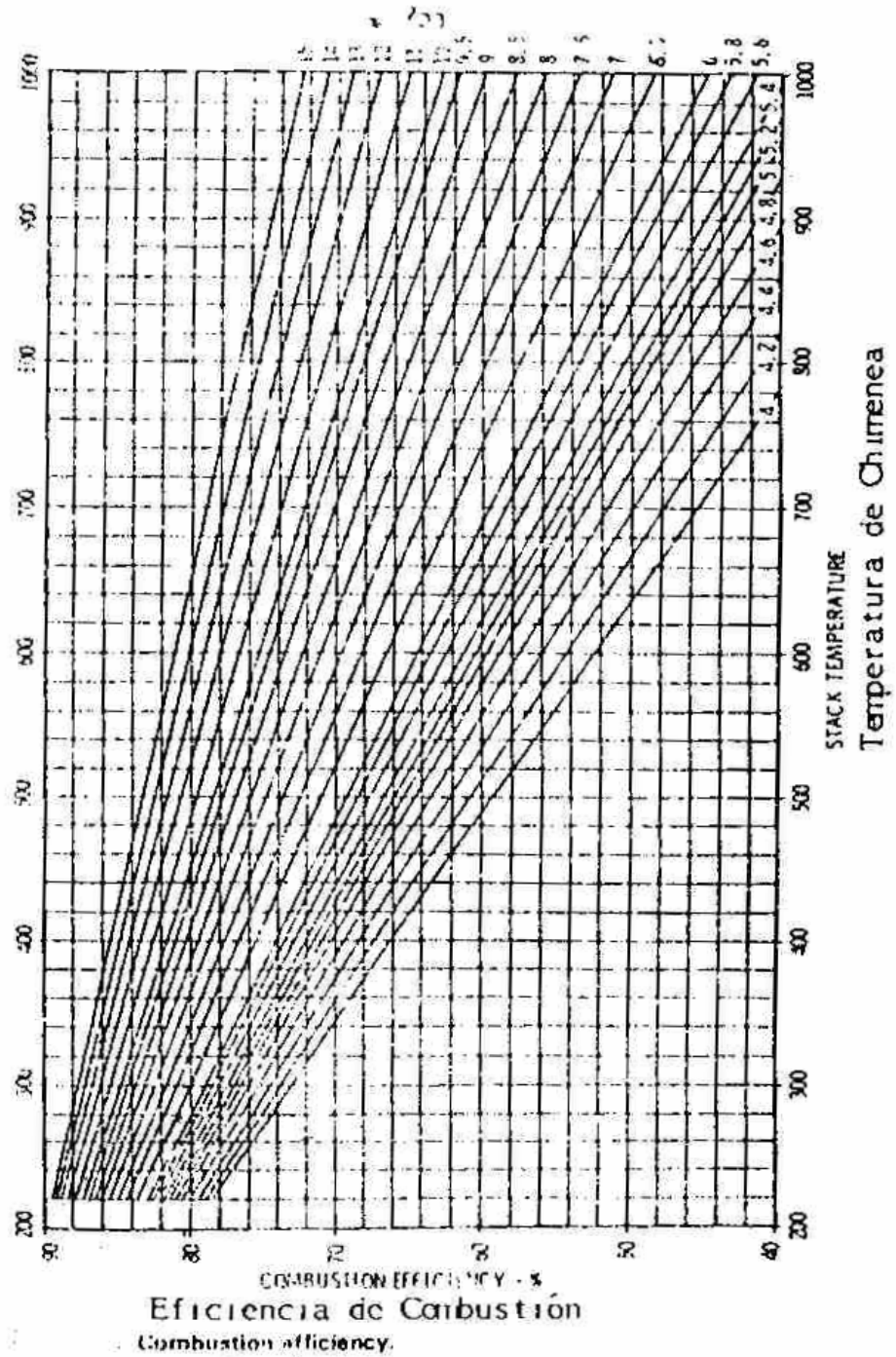
CO recomendable < 50ppm

CO prom. obtenido = 41 ppm

CO máximo = 45ppm

La caldera se encuentra en buenas condiciones de operación con respecto a los análisis realizados por la empresa encargada de ofrecer éste servicio y procedimiento.

Figura 12. Eficiencia de combustión



FUENTE: Luis Medrano, análisis para el mejoramiento de la eficiencia de operación de las calderas de vapor del hospital San Juan de Dios

Con los parámetros obtenidos, se procede a efectuar los cálculos para determinar la eficiencia de la caldera.

Teniendo el porcentaje de CO₂ y la temperatura neta de gases de chimenea, se calcula el porcentaje de eficiencia de combustión con la figura 10.

Por la gráfica se puede observar que la eficiencia de combustión de la caldera se encuentra en un 86%.

Eficiencia de la caldera = eficiencia de combustión – suma de pérdidas de gases secos y humedad en la chimenea estimada.

Para el cálculo de la eficiencia de la caldera se tomará un porcentaje de pérdidas de gases secos y humedad en la chimenea de 8.5%.

$$\text{Eficiencia de la caldera No. 1} = 86\% - 8.5\% = 77.5\%$$

2.1.1.1. Parámetros para mejorar la eficiencia

Se concluye que la caldera cuenta con una buena eficiencia de combustión, y su nivel de hollín se encuentra en buen estado.

Cuando la demanda de vapor aumenta; primero se debe de incrementar el flujo de aire antes de aumentar el flujo de combustible. Cuando la demanda de vapor disminuye; primero se reduce el flujo de combustible antes que el del aire.

La combustión incompleta ocurre por:

- Exceso de oxígeno o aire; si tiene más aire la combustión se viene para abajo y se ve representado por humo de color negro.
- Deficiencia de oxígeno o aire; se tiene más combustible de lo necesario y se deposita en la chimenea. Se ve representado por humo de color blanco.

La mejora de eficiencia en el sistema se lograría condensando el vapor de salida de las máquinas utilizadas dentro del hospital, a través de sistemas de intercambiadores de calor.

Otra forma de mejorar la eficiencia se lograría con los gases de escape de la caldera para precalentar el aire de combustión (calentadores rotativos), antes de ser descargados a la atmósfera por la chimenea adicionalmente se debe implementar sistemas de protección ambiental para la remoción de partículas de hollín y cenizas a través de diferentes métodos como filtros de bolsa o depuradores húmedos y secos.

Así mismo para precalentar el condensado de retorno con economizadores en la chimenea, para que la caldera genere la energía mínima para proveer de vapor al hospital.

2.1.1.2. Incrustaciones

Las incrustaciones son deposición de sales que se adhieren a las superficies de la caldera expuestas al agua, o sea la superficie de intercambio de calor. Los principales componentes de la dureza del agua son en su mayoría bicarbonatos y carbonatos de calcio como de magnesio.

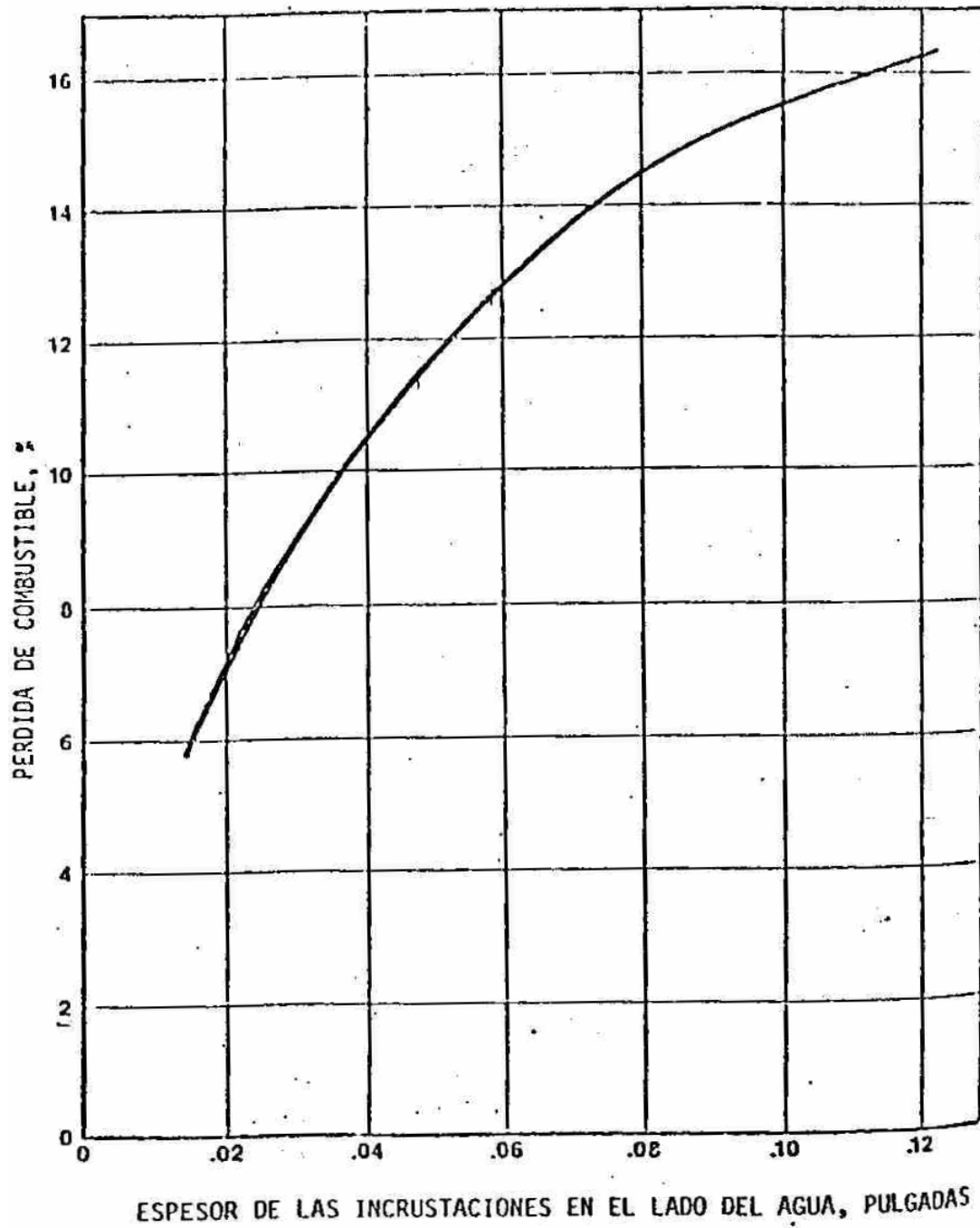
A medida que aumenta la temperatura del agua en la caldera, la solubilidad de estos compuestos disminuye, dando lugar a la precipitación de los mismos. Las incrustaciones producen sobrecalentamientos que pueden producir serios daños a la caldera, entorpecen en forma definitiva la transferencia de calor lo que incide en la eficiencia térmica de la unidad.

Los problemas que representan la formación de incrustaciones se pueden resumir:

- a. Elevan el costo de generación de vapor: debido a que tienen conductividad térmica baja y actúan como aislantes, incrementando el costo de combustible.
- b. Elevan el costo de mantenimiento ya que las tuberías al no recibir enfriamiento tienden a deflexionarse, produciendo la salida de agua por los espejos de la caldera. El cambio de tubos sería inevitable.

En una caldera con incrustaciones se gastará más combustible para evaporar la misma cantidad de agua.

Figura 13. Pérdida de combustible debido al tamaño de las incrustaciones en los tubos, del lado del agua.



FUENTE: Cek de Centroamérica, minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.

Para el cálculo de las pérdidas por incrustación que se obtienen de la caldera, se tomará en cuenta los siguientes datos:

- Caldera de 300Hp
- Combustible empleado: bunker
- Espesor de la incrustación encontrada: 1/4 de pulgada
- F.C. = factor de consumo de bunker = 0.295 GAL/Hp. h
- Horas de operación: 8 diarias
- Carga: 100%

El primer paso es determinar el consumo de bunker por hora (incluyendo la incrustación).

- El promedio de consumo de bunker es de 62.5gal/hora
- Determinar los Hp Reales
- Hp reales = Consumo de combustible/h / Factor de consumo
- Hp reales = 62.5gal/h / 0.295 gal/Hp h = 211.86440678Hp. reales

Determinar cuánto combustible se ahorraría sin incrustación en la tubería.

- Encontrar los Hp sin incrustación
- C = consumo de combustible
- F.I.F.C. = factor de incremento de la resistencia al calor
- F.I.F.C. = (carga + % de pérdida de combustible por incrustación)/ carga
- C = Hp * F.C. * F.I.F.C. * horas de operación

Las pérdidas de combustible que se obtienen debido a las incrustaciones se presentan en la Tabla XII:

Tabla XII. Pérdida de combustible por incrustación

Espesor de Incrustación	Porcentaje de Combustible
1/32 Pulgada	7%
1/25 Pulgada	9%
1/20 Pulgada	11%
1/16 Pulgada	13%
1/9 Pulgada	15%
1/4 Pulgada	16%

FUENTE: Cek de Centroamérica, **minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.**

De acuerdo con la tabla XII, se determina que:

- Para 1/4 de plg. De incrustación se pierde 16% de combustible.
- F.I.F.C. = $(100 + 16)/100 = 1.16$
- $C = Hp * 0.295\text{gal}/\text{Hp} * h * 1.16 = 62.5\text{gal}/\text{hr. de operación.}$
- $Hp = 182.6417 \text{ hp.}$
- La potencia real de la caldera es de 182.6417Hp lo que está muy por debajo de la potencia teórica.
- Si la caldera no presentara incrustación el consumo sería:
 $C = 182.6417\text{hp} * 0.295\text{gal}/\text{Hp} * h = 53.8793 \text{ galones de búnker por hora}$
- $\text{Combustible perdido} = 62.5\text{gal}/\text{h} - 53.8793 \text{ GAL}/\text{h} = 8.6206896\text{gal}/\text{h.}$

En 8 horas (1 día) significa que se perderían 68.965517 galones de búnker, así mismo al mes se pierden 2,068.9655 galones de búnker que es una cifra muy significativa.

Se recomienda un servicio constante con el análisis del agua de calderas para provocar el mejor tratamiento químico que se pueda realizar para evitar la incrustación en la tubería, dentro de la caldera.

2.1.1.3. Generación de vapor

La capacidad de generar vapor de la caldera es igual a la potencia de la caldera por la cantidad de calor en BTU necesaria para evaporar 34.5 lb de agua por hora por hora a 212° F, cantidad es igual a 33,472 BTU/h.

La potencia real de la caldera es de 182.6417Hp con lo cual tiene la capacidad de evaporar 6,301.138 lb/h, cantidad que es igual a 6,113.382 KBTU/h. Convirtiendo este valor en calorías, tenemos que 1 Hp de caldera es igual a 8.535 Kcal./h de donde cada caldera tiene la capacidad de 1,558.8469 Kcal./h.

Estos valores indican que la capacidad de producción de vapor de la caldera está por debajo de las condiciones para la que fue diseñada, la caldera se encuentra deteriorada por el tiempo y es importante desarrollar un plan de mantenimiento integral para la misma para que no colapse y sufra más daños.

La tubería de la caldera se encuentra en malas condiciones, es por ello que la presión de trabajo no se puede aumentar, se recomienda cambiar la tubería para darle un mayor tiempo de vida.

Se deberá realizar las siguientes rutinas de mantenimiento preventivo para optimizar el funcionamiento interrumpido de la maquinaria, incluyendo las reparaciones, cambio de repuestos, para mantener operando el equipo.

Mantenimiento semanal:

- Limpieza del quemador (electrodo, porcelana, tubería flexible, boquilla, etc.) y la tubería de aire.
- Prueba de combustión.
- Verificar que la caldera se desconecte por bajo de nivel de agua.
- Verificar que la caldera se desconecte por falta de llama, por foto celda.
- Verificar el control de interrupción de la llama.
- Limpieza de los filtros colocados antes de la bomba de combustible.
- Purga de los tanques de combustible.
- Análisis químico quincenal del agua dentro de la caldera.

Mantenimiento mensual

- Revisión de los interruptores de mercurio de los controles de presión.
- Limpieza de los contactores, accesorios y componentes eléctricos.
- Revisión de la columna de agua.
- Revisión y limpieza de los filtros.
- Lubricación general.
- Revisión y limpieza de las trampas de vapor y válvula reguladora de vapor.

- Revisión de las válvulas de seguridad.
- Revisión de las válvulas solenoides.
- Limpieza del ventilador con aire comprimido.
- Arranque y pruebas de funcionamiento de las calderas.
- Revisión de válvula de tubería de vapor.

Mantenimiento trimestral

- Limpieza de la columna de fuego (deshollinización).
- Limpieza de la columna de agua.
- Cambio de empaque de tortuga.
- Cambio de empaque de manhole.
- Cambio de empaques de puesta principal.
- Limpieza de las válvulas de purga.
- Chequeo de refractario.
- Limpieza general de compresores de calderas.
- Prueba de hidrostática.
- Chequeo y medición de consumo de los motores y controles eléctricos.
- Ajuste de fajas y alineación de poleas.
- Chequeo de bombas de agua.

Mantenimiento semestral

- Limpieza general del lado de agua (desincrustación química ó mecánica de la tubería, según lo que aplique).
- Limpieza general del lado de fuego (deshollinización de la tubería).
- Limpieza de la columna de agua.
- Revisión y limpieza de las válvulas de purga.
- Revisión de los empaques de los sellos.

- Revisión de los calentadores.
- Descarbonización de compresores de aire.
- Revisión y limpieza de los espejos.
- Revisión del refractario.
- Revisión del hogar.
- Revisión de tejas.
- Revisión de todos los controles eléctricos.
- Revisión de bomba de agua y quemadores.

1.3.6. Aislamiento térmico del sistema

Se debe considerar la necesidad de insular tubería de vapor y retorno de condensado, ya que los cálculos del capítulo I dan a conocer las pérdidas ocasionadas por el descuido de la tubería al no proporcionarle aislamiento térmico.

Para que la instalación de un aislamiento térmico resulte óptima y se obtengan beneficios reales, se deben tener en cuenta aislar con la tubería, los accesorios adicionales tales como juntas de expansión, codos, trampas, etc., es importante ya que un ejemplo es que la junta de expansión sin aislar causa una pérdida equivalente a la de 30 cm de tubería.

Tabla XIII. Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado, con eficiencia de aislamiento asumida en 75%

Presión psi		15	30	60	125	180
Tamaño tubería	pie ² / pie	Lb de condensado / h - pie				
1"	0.344	0.05	0.06	0.07	0.10	0.12
1 1/4"	0.434	0.06	0.07	0.09	0.12	0.14
1 1/2"	0.457	0.07	0.08	0.10	0.14	0.16
2"	0.622	0.08	0.10	0.13	0.17	0.20
2 1/2"	0.753	0.10	0.12	0.15	0.20	0.24
3"	0.916	0.12	0.14	0.18	0.24	0.28
3 1/2"	1.047	0.13	0.16	0.20	0.27	0.32
4"	1.176	0.15	0.18	0.22	0.30	0.36
5"	1.456	0.18	0.22	0.27	0.37	0.44
6"	1.735	0.20	0.25	0.32	0.44	0.51
8"	2.26	0.27	0.32	0.41	0.55	0.66
10"	2.61	0.32	0.39	0.51	0.68	0.80
12"	3.34	0.36	0.46	0.58	0.80	0.92
14"	3.67	0.42	0.51	0.65	0.87	1.03
16"	4.2	0.47	0.87	0.74	0.99	1.19
18"	4.71	0.53	0.64	0.85	1.11	1.31
20"	5.25	0.58	0.71	0.91	1.23	1.45
24"	6.28	0.68	0.84	1.09	1.45	1.71

FUENTE: Gustavo Alvarado, Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor

Con la tabla anterior se puede calcular la condensación en la tubería con protección térmica y comparar con la tubería sin aislante calculada en el capítulo 1.

Para la tubería de vapor de 3" de diámetro, hierro negro, y presión de 80psi, la condensación que ocurre es de 0.20 lb/h. Por pie de tubería, con una longitud de 1607.61 pies. La condensación en la tubería de vapor es de 321.52 lb por hora.

En la tubería de retorno de condensado, con diámetro de 2" de hierro negro y presión de 75 psi, la condensación es de 0.1423 lb/h por pie, y tiene una longitud de 1607.61 pies. La condensación por hora en la tubería de condensado es de 228.775 lb.

Lo anterior demuestra la importancia que se le debe brindar a la colocación del aislante térmico sobre la tubería que conduce vapor y retorno de condensado.

2.1.2.1. Estructura

Una característica importante del aislante es la estructura (compactación). Los espacios o bolsas contenidos en el material aislante disminuyen el flujo de calor. Estos espacios o bolsas deben ser suficientemente pequeños para causar resistencia al flujo de aire, de esta manera solamente una pequeña cantidad de calor transmitida por convección de un lado a otro de los espacios.

2.1.2.2. Humedad

Se debe aplicar el aislamiento de tal forma que por ningún motivo éste se humedezca. La presencia de agua en el aislamiento causa un aumento muy importante de las pérdidas de calor, a la vez que si ésta es continua y la tubería no tiene un uso continuo, se puede presentar corrosión generalizada.

El contenido de humedad en el aislante incrementa la transferencia de calor ya que el agua mezclada con el aislamiento tiene una conductividad térmica de aproximadamente 2 BTU/h por pie y el aislante seco, una conductividad promedio de 0.3 BTU/h por cada pie.

2.1.2.3. Aislamiento térmico a utilizar en el sistema

Los aislantes comúnmente utilizados en sistemas de vapor son: fibra de vidrio, silicato de calcio, uretano y asbesto.

El aislante más frecuente es la fibra de vidrio, para bajas y medianas presiones en sistemas de vapor; es fácil instalar y posee una moderada conductividad térmica, requiriendo un mayor espesor para determinada resistencia a la transferencia de calor respecto a la espuma de uretano. Este aislante es bueno hasta temperaturas de 900 °F (482 °C). El uretano es fácil de manejar, su costo de instalación es bajo, bastante liviano y resistente a la penetración de humedad, es adecuado utilizarlo para aislamiento en tanques y recipientes.

El silicato de calcio posee una mayor conductividad térmica requiriendo mayor espesor de aislamiento para determinada retención de calor. Tiene aplicación a temperaturas hasta de 1200 °F (642 °C), siendo utilizado en sistemas de vapor a alta presión.

El material a utilizar como aislamiento de la tubería del sistema de generación de vapor y retorno de condensado propuesto es la fibra de vidrio, debido a que es utilizada comúnmente para sistemas de vapor a bajas y medianas presiones, el sistema del hospital trabaja a una presión de operación de 80 psi. Además, soporta temperaturas de hasta 400 grados centígrados.

2.1.2.4. Espesor óptimo del aislamiento

Es importante la determinación del espesor del aislamiento óptimo del material escogido, ya que no se debe exagerar el mismo, porque al duplicar éste sólo se reducen las pérdidas en aproximadamente un 25% con respecto al espesor original.

Tabla XIV. Espesor recomendado para aislamiento de fibra de vidrio

Diámetro nominal Tubería en pulgadas	Temperatura de operación en grados Fahrenheit				
	100 - 199	200 - 299	300 - 399	400 - 499	500 - 599
0.50	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
1.00	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
1.50	1.00	1.50	2.50	3.00	3.00
2.00	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00
2.50	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00
3.00	1.50	2.50	3.00	3.00	3.00
4.00	1.50	2.50	3.00	3.00	3.50
5.00	1.50	2.50	3.00	3.00	4.00
6.00	1.50	3.00	3.00	3.50	4.00
8.00	1.50	3.00	3.00	3.50	4.50
10.00	1.50	3.00	3.00	4.00	4.50
12.00	1.50	3.00	3.50	4.00	5.00
14.00	1.50	3.00	3.50	4.00	5.00
16.00	1.50	3.00	3.50	4.00	5.00
18.00	1.50	3.00	3.50	4.50	5.00
20.00	2.00	3.00	3.50	4.50	5.00
24.00	2.00	3.00	4.00	4.50	5.50
30.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
36.00	2.50	4.50	6.00	7.50	9.00

FUENTE: Curso Plantas de vapor, USAC, **Material de apoyo**

Con la tabla X IV se calcula el espesor del aislamiento térmico:

- Diámetro de tubería de vapor = 3"
- Temperatura de operación en grados Fahrenheit = 311 °F
- Espesor por tabla IX = 3"
- Diámetro de tubería de condensado = 2"
- Temperatura de operación en grados Fahrenheit = 194 °F
- Espesor por tabla IX = 1"

El espesor de aislamiento térmico de fibra de vidrio propuesto es de 3" para la tubería de vapor y de 1" para la tubería de retorno de condensado.

Tabla XV. Cantidad de aislamiento térmico requerido

Descripción	Cantidad
Cañuela de fibra de vidrio de 2"x 1"x 3pies	536 unidades
Cañuela de fibra de vidrio de 3"x 3"x 3pies	536 unidades

2.1.3. Recuperación de condensado

Al seleccionar los diferentes tramos de tubería, para llevar vapor al proceso es recomendable tener en cuenta:

- Flujo de vapor a transportar.
- Longitud del tramo.
- Condiciones de trabajo (presión y temperatura).
- Usar la ruta más corta con la menor cantidad posible de accesorios (codos, tes).
- Los tramos largos de líneas de vapor deben tener trampas y desniveles para purgarlas y así evitar el golpe de ariete.

Tabla XVI. Cantidad de tubería de hierro negro y accesorios requeridos

Descripción	Cantidad
Tubería de hierro negro cédula 40 de 1" por 19.7pies	10 unidades
Tubería de hierro negro cédula 40 de 2" por 19.7pies	82 unidades
Tubería de hierro negro cédula 40 de 3" por 19.7 pies	82 unidades
Codos de hierro negro Cédula 40 de 1"	36 unidades
Codos de hierro negro Cédula 40 de 2"	15 unidades
Te de hierro negro Cédula 40 de 1"	36 unidades
Reductor de hierro negro de 1" a 3/4 "	36 unidades
Reductor de hierro negro de 2" a 1 "	18 unidades

2.1.3.1. Trampas de vapor

En esta sección se realizarán los cálculos para la selección de las trampas de vapor que se debería de utilizar en el sistema de distribución de vapor, a continuación se presentan los pasos para ésta aplicación:

- Se escoge el tipo de trampa con ayuda de las tablas según la aplicación y la importancia de los diferentes suministros de vapor que se requieran, con ayuda de cuadros que los fabricantes emplean para los diferentes tipos de trampas.
- Calcular la carga de condensado: Con la ayuda de tablas, se pueden calcular las cargas de condensado que la tubería y presión determinada genera.
- Aplicación del factor de seguridad: Es importante la aplicación de los factores de seguridad para prevenir multiplicar las cargas de condensado calculadas.

Las condiciones del sistema son las siguientes:

- Vapor a 80 psi
- Condensado a tanque atmosférico.

Para el cálculo de la selección de las trampas de vapor propuestas se tomará la distancia a la que está ubicada cada trampa una respecto de la otra, se muestra en la tabla XVII:

Tabla XVII. Ubicación de trampas de vapor en tubería hacia el edificio central

No.	Tipo de Trampa	Distancia
1ra.	Termodinámica	28.125m
2da.	Termodinámica	63m
3ra.	Cubeta Invertida	46.125m
4ta.	Termodinámica	51m
5ta.	Cubeta Invertida	75.4m
6ta.	Termodinámica	69.75m
7ma.	Termodinámica	47.5m
8va.	Cubeta Invertida	92.25m

En estos casos la carga será baja y se puede pensar en trampas de cubeta invertida o termodinámicas de disco. No se recomienda la termostática por su acumulación de condensado arriba de la trampa, lo que podría perjudicar las líneas de vapor.

La trampa de flotador y termostato no se utilizan en este tipo de aplicación.

La carga de condensado se presenta en la tabla XVIII:

Tabla XVIII. Lb. de condensado/h de 100 pies de tubería de vapor aislada a 70° F (a 0° F incrementar 50%)

Presión de Vapor	Tamaño de tubería					
	2"	3"	4"	6"	8"	10"
10	6	9	11	16	20	24
60	10	14	18	27	33	41
125	13	20	24	36	45	56
300	20	30	37	54	68	85
600	30	44	55	82	103	128

FUENTE: Gustavo Alvarado, Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor

Interpolando para 80 psi de presión y el tamaño de tubería de vapor de 3", se tiene:

$$14-X/60-80 = 14-20/60-125$$

14-X = 15.8461 lb de condensado/hora por tramo de 100 pies con aislante, que es igual a 0.52 lb de condensado/hora por cada metro de tubería.

Sin aislante térmico, se le debe incrementar el 50% de carga de condensado:

$$15.8461 (0.5) + 15.8461 \text{ lb condensado/h} = 23.7692 \text{ lb de condensado/h por cada 100 pies}$$

La carga de condensado es igual a 0.78 lb /h por cada metro de tubería recorrida en la red de vapor.

Las únicas trampas donde se podría tomar en cuenta el material refractario es en la tercera y cuarta trampa de la tabla XVII; para la tercera trampa que es de cubeta invertida se tomará un tramo de 15 metros de tubería con material refractario. Para la cuarta trampa de vapor que es termodinámica se tomarán en cuenta 51 metros de tubería protegida.

A continuación se calculan las cargas de condensado en base a la distancia recorrida de tubería por la carga de condensado provocada en la tubería que es de 0.78 lb/h de condensado para tubería sin asilamiento térmico y 0.52lb/h de condensado para tubería con aislamiento térmico.

Tabla XIX. Carga de condensado en lb/h de las trampas en tubería a edificio central, pediatría y maternidad

No.	Tipo de Trampa	Carga lb/h
1ra.	Termodinámica	21.9375
2da.	Termodinámica	49.14
3ra.	Cubeta Invertida	35.9775
4ta.	Termodinámica	39.78
5ta.	Cubeta Invertida	58.812
6ta.	Termodinámica	54.405
7ma.	Termodinámica	37.05
8va.	Cubeta Invertida	71.955

FUENTE: Hospital Roosevelt, Tubería de vapor

Tabla XX. Factores de seguridad recomendados para trampas de vapor

Aplicación	Factor de seguridad
Autoclaves	3 a 4
Evaporadores	2 a 3
Marmitas	4 a 5
Serpentines de aire	3 a 4
Ramales de vapor	3 a 4
Lavandería	3 a 4
Separadores	3 a 4
Líneas rastreadoras	2 a 3

FUENTE: Gustavo Alvarado, tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor

El factor de seguridad es el multiplicador que se aplica al condensado para su respectiva aplicación y con ello asegurar que la trampa seleccionada cuente con la capacidad adecuada, y previene de cargas mas altas al arranque, las cargas variables en la operación, la necesidad de sobredimensionar las mismas y la posibilidad de controlar una contrapresión en el sistema de condensado.

Trampa 1: carga = $21.937 * 3 = 65.8125$ lb/h (29.852kg/h)

Trampa 2: carga = $49.14 * 3 = 147.42$ lb/h (66.868kg/h)

Trampa 3: carga = $35.977 * 3 = 107.931$ lb/h (48.956kg/h)

Trampa 4: carga = $39.78 * 3 = 119.34$ lb/h (54.131kg/h)

Trampa 5: carga = $58.812 * 3 = 176.436$ lb/h (80.030kg/h)

Trampa 6: carga = $54.405 * 3 = 163.215$ lb/h (74.033kg/h)

Trampa 7: carga = $37.05 * 3 = 111.15$ lb/h (50.417kg/h)

Trampa 8: carga = $71.955 * 3 = 215.865$ lb/h (97.914kg/h)

Tabla XXI. Capacidades típicas para trampas de cubeta invertida

Presión Diferencial (psi)	Capacidad de trampa (lb/h)			
	Modelo de trampa			
	CI - 1	CI - 2	CI - 3	CI - 5
5	450	830	1600	2900
10	560	950	1900	3500
15	640	1,06	2100	3900
20	680	880	1800	3500
25	460	950	1900	3800
30	500	1000	2050	4000
40	550	770	1700	3800
50	580	840	1900	4100
60	635	900	2000	4400
70	660	950	2200	3800
80	690	800	1650	4000
100	640	860	1800	3600
125	680	950	2000	3900
150	570	810	1500	3500
200	-----	860	1600	3200
250	-----	760	1300	3500
300	-----	510	1400	3700
400	-----	590	1120	3100
450	-----	-----	1200	3200

FUENTE: Gustavo Alvarado, tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor

Cada tipo de trampa de vapor posee sus características de diseño y capacidades de control de carga de condensado como se observa en las tablas XXI y XXII para trampas de cubeta invertida y termodinámicas respectivamente.

Tabla XXII. Capacidades típicas para trampas termodinámicas

Presión	Capacidad de trampa (lb/h)		
	Modelo de trampa		
Diferencial (psi)	TD - 1	TD - 2	TD - 3
	3/8" o 1/2"	3/4"	1"
10	450	830	1600
25	560	950	1900
50	640	1,06	2100
75	680	880	1800
100	460	950	1900
150	500	1000	2050
200	550	770	1700
300	580	840	1900
400	635	900	2000
600	660	950	2200

FUENTE: Gustavo Alvarado, tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor

La presión diferencial se tomará de 70 psi, luego con la Tabla XXII se escogen los modelos a utilizar. Se debe cambiar todas las trampas de vapor a trampas de vapor termodinámicas, que es lo más recomendable para este tipo de sistema, las trampas termodinámicas serán de modelo TD-2 con capacidad de descarga de 880 lb/h de condensado para los by-pass de 3/4", y para las secciones de tubería que cuentan con by-pass de 1" se sugiere cambiar al modelo TD-3 con capacidad de 910 lb/h.

Otra propuesta es cambiar todas las trampas de vapor por trampas de cubeta invertida CI-1 que tienen capacidad de descarga para 660 lb/h de condensado

Lo más recomendable es, con el rediseño de la red, sustituir todas las trampas de vapor encontradas en la línea de distribución de vapor por las que sean necesarias para el buen funcionamiento del sistema. A continuación se presenta el cálculo que determinará la distancia en metros donde se deberá colocar una trampa termodinámica.

Utilizando una presión de vapor de 80psi, colocando un by-pass con tubería filtros y accesorios de 1", se escogerá la trampa de vapor modelo TD-3 con capacidad de descarga de 910lb/h.

- La distancia de tubería en metros = (Capacidad de descarga/factor de seguridad) / 0.78 lb/h *metro
- El factor de seguridad será igual a 4
- $(910\text{lb/h} / 4) / 0.78 \text{ lb/h} * \text{metro} = 291.666\text{metros}$

En teoría se puede colocar este tipo de trampa cada 290 metros de tubería, pero para lograr que funcione de esa manera, se deberá cambiar la tubería que está muy corroída y colocar material de protección térmica para que todo en conjunto ayude a recuperar de la mejor forma el condensado que se genera y no regresar vapor saturado, como actualmente ocurre en el sistema.

Tabla XXIII. Ubicación de las trampas de vapor en lavandería

No.	Tipo de Trampa	Ubicación	Distancia
1ra.	Termodinámica	Planchador 1	13m
2da.	Termodinámica	Planchador 2	11m
3ra.	Termodinámica	Planchador 3	15m
4ta.	Termodinámica	Secadora 1	15m
5ta.	Termodinámica	Secadora 2	19m
6ta.	Termodinámica	Secadora 3	22m
7ma.	Cubeta Invertida	Secadora 4	15m
8va.	Cubeta Invertida	Secadora 5	18m
9na.	Termodinámica	Rodillos 1	12m
10ma.	Cubeta Invertida	Rodillos 2	27m

FUENTE: Hospital Roosevelt, Tubería de vapor

Para los cálculos de las cargas, se tomará el factor de carga de condensado de la tabla XIV, con un diámetro de tubería de 3" para distribución de vapor en lavandería., el cual es igual 0.78 lb de condensado/hora por cada metro de tubería recorrida sin protección térmica.

Tabla XXIV. Carga de condensado en lb/h de las trampas en lavandería

No.	Tipo de Trampa	Carga lb/h
Planchador 1	Termodinámica	10.14
Planchador 2	Termodinámica	8.58
Planchador 3	Termodinámica	10.14
Secadora 1	Termodinámica	11.7
Secadora 2	Termodinámica	14.82
Secadora 3	Termodinámica	17.16
Secadora 4	Cubeta Invertida	11.7
Secadora 5	Cubeta invertida	14.04
Rodillos 1	Termodinámica	9.36
Rodillos 2	Cubeta invertida	21.06

FUENTE: Hospital Roosevelt, Tubería de vapor

El factor de seguridad que se le proporciona a la red para lavandería, será escogido de la tabla XX, se tomará 3 para lavandería.

Trampa planchador 1: carga = $10.14 * 3 = 30.42$ lb/h (13.7982kg/h)

Trampa planchador 2: carga = $8.58 * 3 = 25.74$ lb/h (11.67547/h)

Trampa planchador 3: carga = $10.14 * 3 = 30.42$ lb/h (13.7982/h)

Trampa secadora 1: carga = $11.7 * 3 = 35.10$ lb/h (15.9210kg/h)

Trampa secadora 2: carga = $14.82 * 3 = 44.46$ lb/h (20.16 Kg./h)

Trampa secadora 3: carga = $17.16 * 3 = 51.48$ lb/h (23.3509kg/h)

Trampa secadora 4: carga = $11.7 * 3 = 35.10$ lb/h (15.9210 Kg./h)

Trampa secadora 5: carga = $14.04 * 3 = 42.12$ lb/h (19.1051/h)

Trampa rodillos 1: carga = $9.36 * 3 = 28.09$ lb/h (12.7368kg/h)

Trampa rodillos 2: carga = $21.06 * 3 = 63.1$ lb/h (28.65796/h)

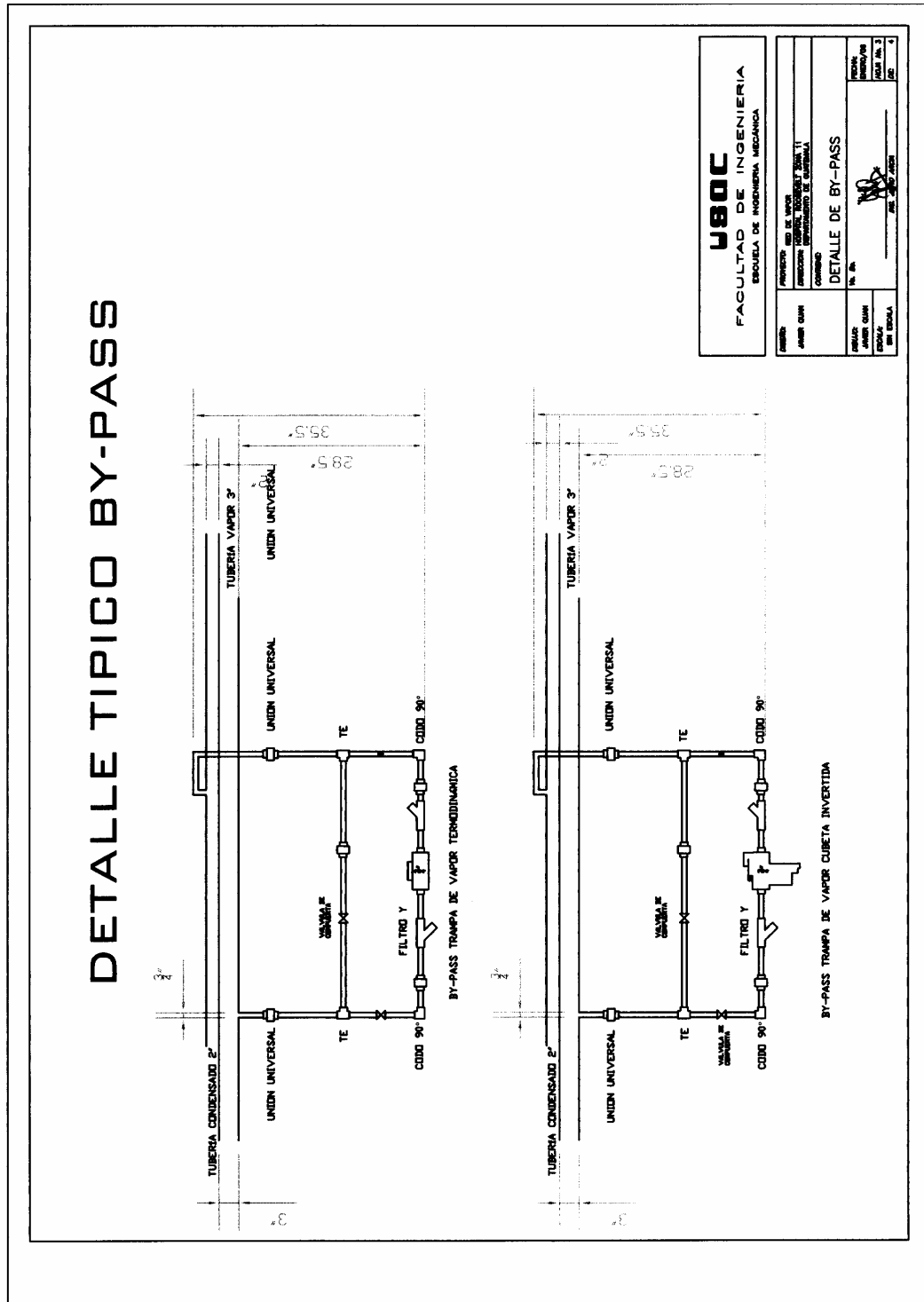
Las trampas termodinámicas elegidas son de modelo TD-1 con capacidad de descarga de 680 lb/h de condensado para los by-pass de ¾".

Para las trampas de cubeta invertida se eligieron las de modelo CI-1 que tienen capacidad de descarga para 660 lb/h de condensado

Tabla XXV. Accesorios recomendados para renovación de trampas de vapor utilizando el diseño actual

Descripción	Cantidad
Trampa de cubeta invertida de ¾" 125 CI-1	6 unidades
Trampa termodinámica TD-1 ¾ "	7 unidades
Trampa termodinámica TD-2 ¾ "	3 unidades
Trampa termodinámica TD-3 1"	2 unidades
Filtro en Y de ¾"	16 unidades
Filtro en Y de 1"	2 unidades
Válvula cheque de ¾"	16 unidades
Válvula cheque de 1"	2 unidades
Válvula de compuerta ¾"	32 unidades
Válvula de compuerta 1"	4 unidades
Unión universal ¾"	80 unidades
Unión universal 1"	10 unidades

Figura 14. Detalle típico de by pass



2.1.3.1.1. Administración y mantenimiento

El número de trampas de vapor en el hospital es normalmente más alto que cualquier otro equipo importante y consumidor de energía. Como anteriormente se explicó el hospital cuenta con 18 trampas de vapor únicamente en la red de distribución de vapor y lavandería, la mayoría de trampas en conjunto, pueden llegar a consumir o desperdiciar cantidades grandes de energía. Con estas situaciones es necesario que se administren y se les brinde mantenimiento.

Se debe asignar a un encargado de la administración y mantenimiento de las trampas, ya que es muy importante llevar el control de las mismas.

El encargado de las trampas debe velar por su auto-adiestramiento y entre las actividades claves, bajo su dirección se debe desarrollar la programación de pruebas para trampas.

Las pruebas para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente, deben hacerse a intervalos regulares. Las trampas que se encuentran en aplicaciones críticas del proceso y a alta presión tienen que ser revisadas con mayor frecuencia que las otras. Como una guía para la verificación según la presión de la trampa se dan los siguientes datos:

- De 0 a 30 psi (0 a 0.21kPa) inspección anual
- De 30 a 100 psi (0.21 a 0.69 KPa) inspección semestral
- De 100 a 250 psi (0.69 a 1.72 KPa) inspección trimestral o mensual
- Mas de 250 psi (1.72 KPa) inspección mensual o semanal

Un programa organizado de inspecciones y pruebas necesita también un inventario en el hospital. Una lista central de las trampas se debe mantener en el departamento de mantenimiento, con sus fechas y resultados de las inspecciones, además de sus códigos o números para su identificación. Se recomienda también colocar el modelo y tipo de trampa adecuada.

2.1.4. Sistema de agua de alimentación

El agua de alimentación constituye la materia prima para la producción de vapor, por lo tanto este elemento debe ser suministrado a la caldera con el fin de mantener una generación constante de vapor.

El sistema de alimentación está compuesto por el sistema de control, el equipo de bombeo y el tanque de almacenamiento.

El control se encarga de mantener el nivel del agua en el domo. El equipo de control está compuesto por las válvulas de regulación del agua de alimentación y los dispositivos de control. Las especificaciones del equipo de bombeo y el tanque de almacenamiento se mencionaron en el primer capítulo.

Figura 15. Sistema de control de agua de alimentación

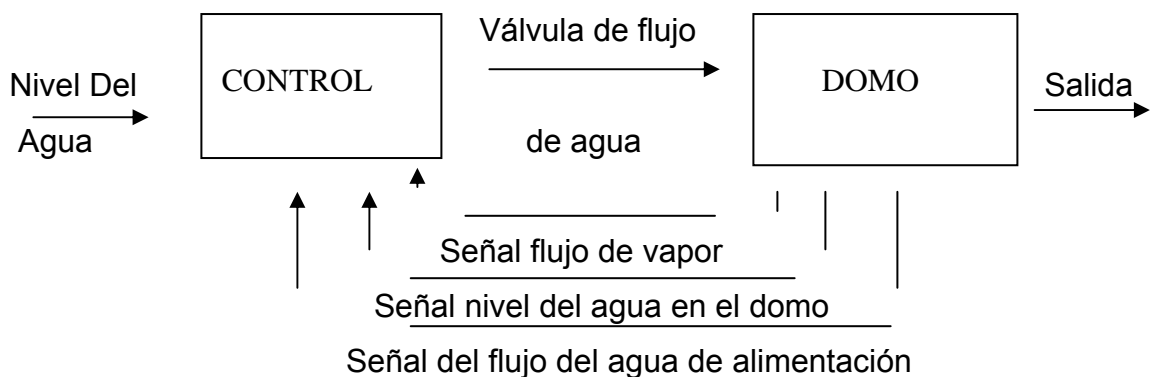
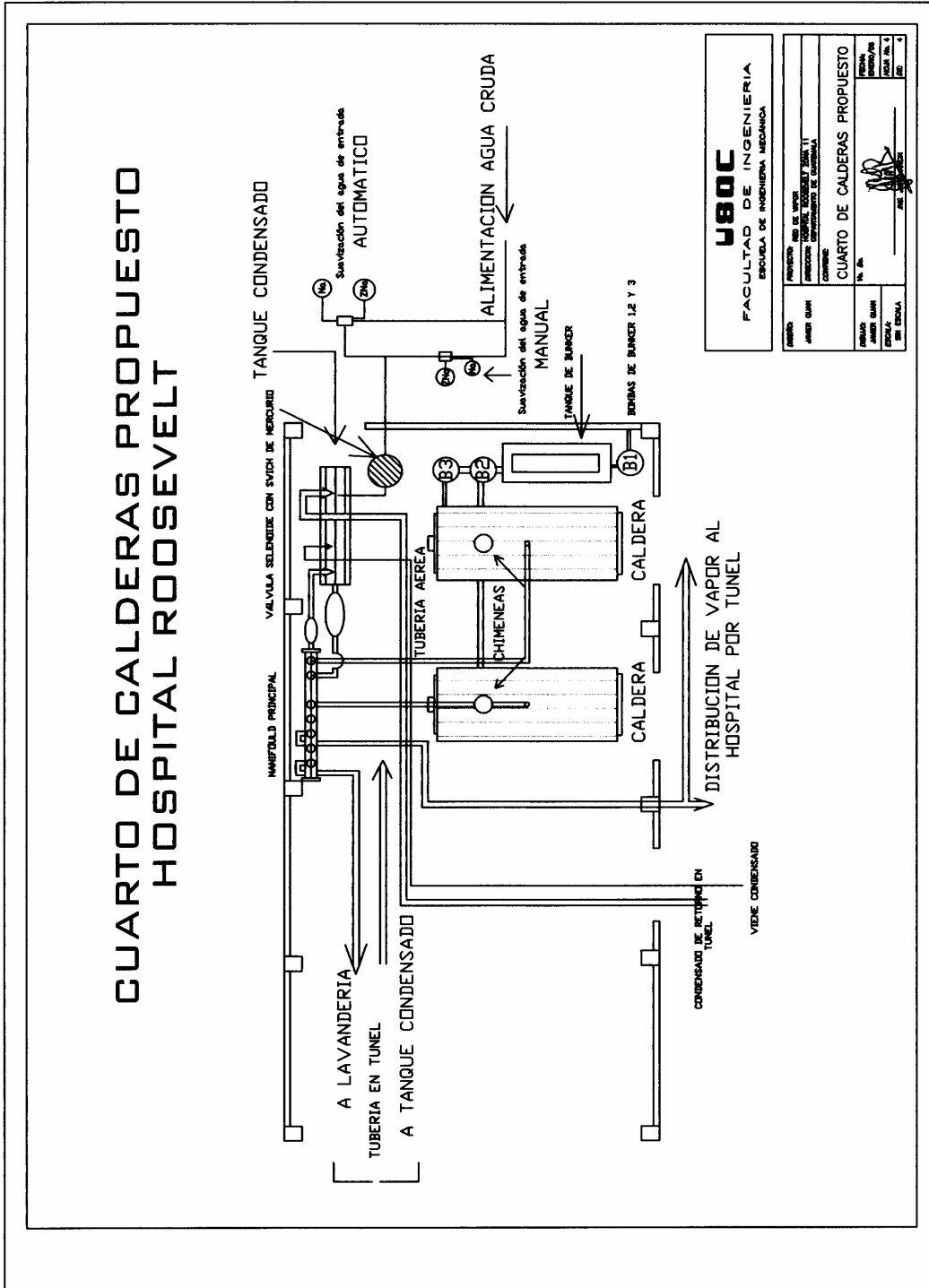


Figura 16. Cuarto de calderas propuesto



2.1.4.1. Tanque de alimentación

La generación de vapor depende directamente de la cantidad de agua que se le suministra a éste, es importante que la cantidad de agua de reserva y la capacidad del tanque de alimentación almacene una cantidad mínima de agua suficiente para mantener la evaporación en la caldera, por lo menos durante 20 minutos.

Para el hospital y otros medios que normalmente necesitan suministros constantes de vapor, se requiere de un tanque del almacenamiento que se clasifica según tamaño para satisfacer las demandas máximas. Esto se logra seleccionando un tanque de tamaño suficiente, con el aislamiento adecuado, y diseñado para impedir que el agua fría entrante se mezcle con el suministro del agua caliente.

Estos tanques normalmente se diseñan para prevenir la oxidación, y una presión máxima de diseño de 125 psi que es la presión típica de suministro en ciudades.

Para determinar la capacidad del tanque se utilizará la fórmula siguiente:

$$\text{BHP} \times 0.26\text{lt}/\text{min} \times 20 \text{ min}$$

Donde:

- BHP = potencia de la caldera
- 0.26lt/min. = cantidad necesaria de agua para satisfacer las necesidades de 1 BHP
- 20 min. = tiempo necesario para sostener la evaporación en la caldera.

Para el caso de la caldera del hospital:

- $300\text{BHP} \times 0.26 \text{ lt}/\text{min} \times 20 \text{ min.} = 1560\text{lt} = 412.108 \text{ galones}$
(caldera con BHP teórica)

- $183\text{BHP} \times 0.26 \text{ lt/min.} \times 20 \text{ min.} = 951.6\text{ lts} = 251.386 \text{ galones}$
(caldera con BHP reales)

-

Por otra parte el tanque de agua de alimentación, no deberá estar siempre lleno al 100%, es recomendable que el nivel de agua cubra un 70% del tanque. Conforme a estos datos, se tiene que:

- Reserva mínima del agua = capacidad / 0.7
- Reserva mínima del agua = $412.108\text{ galones} / 0.7 = 588.7262$
galones (caldera con BHP teórica)
- Reserva mínima del agua = $251.3861\text{ galones} / 0.7 = 359.123$
galones (caldera con BHP reales)

Entonces el tanque de alimentación en la actualidad deberá cumplir por diseño una capacidad de por lo menos 588.762 galones y como ahora está operando con una potencia de 183BHP, debería ser suficiente un tanque con capacidad de 360 galones el cual no debería rebalsarse, ni quedarse sin agua para suministro de la caldera.

Con estos datos se descarta la posibilidad de que las dimensiones del tanque que existen no son adecuadas y de que ese es el motivo por el que se rebalsa el condensado y agua fría que se almacena en el mismo.

Se recomienda que el tanque cuente con una tapa de registro y así obtener el acceso para su limpieza, y de un venteo para no tener problemas de dilatación, contracciones y choques térmicos.

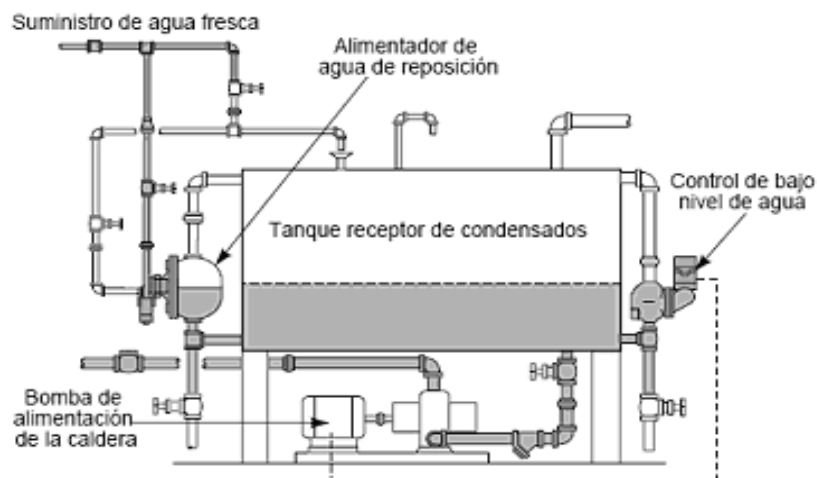
2.1.4.1.1. Sistema automático de suministro de agua fría

Existe siempre la posibilidad de un error humano en cualquier trabajo. Al decidir cerrar el suministro de agua al tanque receptor. El control de la bomba en la caldera todavía podrá arrancarla, pero una vez que el receptor se seque no tendrá ninguna agua que bombear debido a que la válvula está cerrada. O supongamos que el edificio pierde presión de agua y la bomba de alimentación repentinamente se encuentra moviendo más agua que la que el alimentador del agua puede reemplazar.

Si la bomba funciona en seco, provocará cavitaciones y su sello mecánico se calentará y romperá rápidamente. El resultado sería una reparación costosa y la baja del sistema durante algún tiempo.

Si se instala un control de bajo nivel de agua en una línea de compensación alrededor del tanque, la parada protegerá la bomba, no importa qué suceda.

Figura 17. Sistema automático de suministro de agua fría propuesto



Si existe un tanque receptor de capacidad adecuada, éste será capaz de almacenar la cantidad de agua apropiada para mantener la caldera en operación durante los ciclos de arranque. También será capaz de recibir el retorno condensado sin desbordarse. Seleccionar correctamente la capacidad del tanque de alimentación se torna difícil en cuanto a los factores que se deben visualizar dentro del hospital.

Se tiene que observar de cerca el sistema completo para imaginarse cuánto tomará al condensado regresar del edificio central y servicios a los que se suministra vapor. Hay muchas variables a considerar: El tipo y la condición de las trampas de vapor, la pendiente y estado de limpieza de las tuberías principales y de retorno, el aislamiento o carencia de aislamiento de las tuberías, la forma de la red y cómo la gente se sirve de él.

Se necesitarán bombas de transferencia de condensados, o quizá bombas de vacío para el retorno de condensado eficiente hacia el tanque de alimentación. Esas bombas recogen y retransmiten el agua de retorno a la bomba de alimentación de la caldera. Hay muchas cosas que pueden afectar cuán rápidamente estas bombas secundarias hacen retornar el condensado a la bomba primaria de alimentación de la caldera. Hay que considerar todo esto cuando se selecciona la capacidad de un receptor de la bomba de alimentación. Sin embargo, algo permanecerá constante.

Siempre debe haber suficiente agua en el receptor como para que la caldera pueda extraer durante el ciclo de arranque (el tiempo entre la producción del vapor inicial y el retorno del condensado desde el edificio del hospital).

Un control propuesto para el tanque alimentador de agua de reposición es el guarda nivel McDonnell & Miller, utilizado también en las calderas, ya que el que existía está fuera de servicio e inservible.

Si en algún caso se necesitara poner a funcionar las dos calderas, la bomba de alimentación debe satisfacer las necesidades de todas las máquinas de producción de vapor, si necesitaran agua simultáneamente.

Durante el ciclo de arranque, el drenaje desde el recibidor de la bomba de alimentación puede ser intenso y el alimentador del agua de reposición tiene que ser capaz de igualar ese flujo. Cuando el alimentador se abre, envía una señal a la válvula de diafragma ubicada en la entrada de agua fría para que entre en acción. Esta válvula, que es grande, rápidamente mantiene el recibidor a la tercera parte de su capacidad. Una vez que la bomba de alimentación se apaga, esta válvula se cierra firmemente para prevenir un sobrellenado. Si el condensado de retorno llenara el recibidor, la válvula de alimentación, por supuesto, permanecería cerrada.

Esta disposición de las tuberías también permite mucha libertad porque se puede situar la válvula de diafragma en una posición remota, si se quiere, para facilitar el mantenimiento.

2.1.4.1.2. Recuperación de calor

Para el mejoramiento del sistema, se proponen algunos procesos específicos para recuperar energía.

Los principales métodos de recuperación de calor utilizan intercambiadores de calor instalados a la salida de la chimenea para recuperar un porcentaje de calor que de no hacerlo se perderían. Estos intercambiadores de calor se dividen en dos categorías: economizadores (para precalentamiento de agua) y precalentadores de aire.

Los precalentadores de aire generalmente se utilizan en calderas que mantienen cargas bajas, particularmente durante los fines de semana. Utilizan ductos de desviación y compuertas de aire para operaciones a baja carga de modo que la temperatura del gas pueda ser mantenida arriba del punto de rocío, existen dos tipos que son los regenerativos y los no regenerativos.

2.1.4.1.2.1. Temperatura de agua de alimentación

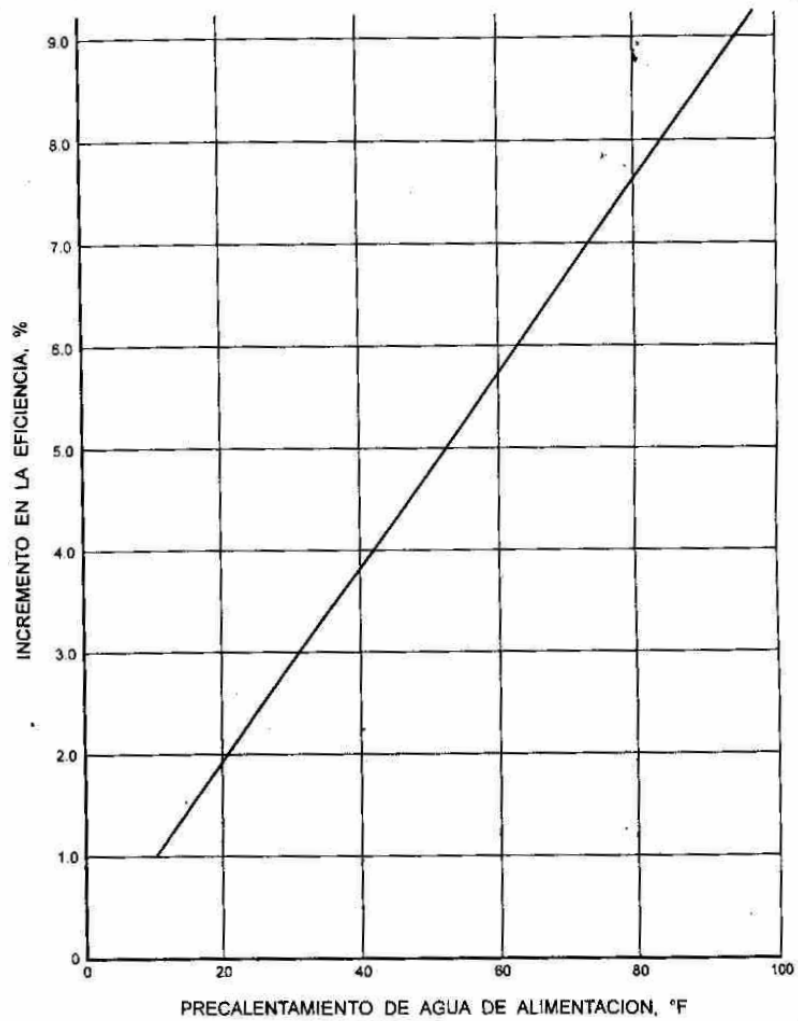
El precalentamiento del agua se realiza para eliminar el oxígeno disuelto en el agua de alimentación.

Tener en cuenta que a temperaturas mayores a 80° C en el agua de alimentación a las calderas, causan problemas de cavitación en las bombas (no bombean) y por consiguiente su pronto deterioro y riesgos para la caldera, al no haber un eficiente suministro de agua.

Se recomienda establecer una temperatura regulada de 70° C, en el agua de alimentación a la caldera, para evitar estos contratiempos.

La eficiencia de la caldera aumenta con la elevación de la temperatura de agua de alimentación.

Figura 18. Incremento de la eficiencia por precalentamiento del agua de alimentación



FUENTE: Cek de Centroamérica, **minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.**

Un incremento en la temperatura de agua de alimentación redundará en un aumento del rendimiento de aproximadamente el uno por ciento.

Cuando el sistema se encuentre estable y con las condiciones óptimas de distribución de vapor, se recomienda la instalación de un economizador, el cual es el medio eficaz para precalentar el agua de alimentación por recuperación del aire desperdiciado en los gases de chimenea.

El control de temperatura del líquido calentado se logra mediante un ducto de desviación (by-pass) el cual varía el flujo de los gases calientes que entran al intercambiador de calor. Básicamente, todos los economizadores son parecidos.

2.1.4.2. Tratamiento de agua para calderas

El acondicionamiento del agua para uso en la generación de vapor se puede dividir en el pretratamiento o tratamiento externo, y el tratamiento interno.

El procedimiento para el control del tratamiento de agua de calderas que se propone es el siguiente

1. Hacer un análisis del agua que tiene la caldera en función para verificar que los parámetros estén dentro de los estándares reales y verificar si existe incrustaciones en la tubería interna u otro tipo de sedimentos.
2. Después de los análisis realizados el encargado de suministro de químico indicara que cantidad del mismo debe hacerse por bach diariamente, en el caso de que la caldera en función se encuentra en sus estándares reales se utilizará el químico en polvo W 2105 y el líquido W

2902 y 2 libras de soda cáustica diarios, esta dosificación evita que la tubería interna se incruste, es importante que toda caldera se le realice sus respectivas purgas según lo indique el la persona encargada de realizar el análisis que lleva dicho tratamiento, en este caso la potencia real de la caldera es de 182.6417 HP y se deben establecer los estándares para este tipo de potencia, realizar una purga por válvula tanto como las de fondo y columnas por 10 segundos cada una, el régimen de purga varia según el estado en que se encuentre cualquier tipo de caldera, pero esto se indicara y se deberá hacer un análisis cada 5 días.

2.1.4.2.1. Tratamiento externo

En el hospital se necesita de otros métodos de tratamiento externo, ya que no son los suficientes los que existen actualmente para tratar el agua de alimentación.

Los procedimientos de pretratamiento que se recomienda implementar dentro del sistema consisten en:

a) Sedimentación:

Hacer pasar o fluir el agua turbia a baja velocidad, a lo largo de estanques horizontales abiertos para la precipitación de los sedimentos, con el objeto de que se precipiten aceleradamente, drenando estos sedimentos por medio de purgas. La aplicación de los químicos, depende del PH del agua (que tan ácida o alcalina este el agua).

b) Filtración:

Hacer pasar el agua a través de capas sucesivas de material poroso comodables en un recipiente cerrado. Estas capas pueden estar echas de arena, carbón, metales, piedra o grava.

Los filtros de arena, carbón, etc. están construidos con un recipiente metálico a presión y posee capas granuladas porosas.

Los tipos de filtro más comunes son: el filtro de cartucho, el cual filtra hasta $5\mu\text{m}$ pero es muy caro; el de arena o material granulado que filtra hasta $100\mu\text{m}$ es él más usado.

c) Ablandamiento o Suavización:

Los suavizadores y/o desmineralizadores, son filtros químicos de resina. La función de estos elementos es mediante el intercambio de iones, eliminando el calcio, magnesio y sílice ya que producen incrustaciones en los tubos de las calderas, esto provoca que el tubo se recaliente y que exista poca transferencia de calor así como más calor y más combustible para evapora el agua.

Mediante este procedimiento las sales del calcio y de magnesio son químicamente precipitadas y removidas por el uso de fosfatos y soda cáustica. Las reacciones son llevadas en caliente (212° F) al equipo externo de la caldera, los precipitados son muy insolubles y producen agua de dureza cero.

Consiste en un tanque que contiene resina sintética que es un polímero compuesto de material fenólico. Obtenido a partir de materiales químico

orgánico, que tiene la propiedad de remover por medio de iones de sodio los iones de calcio y magnesio del agua dura.

La zeolita puede tener tres posiciones las cuales son: (servicio, lavado y regenerado). Este modelo se debe de tener cuidado de que el agua a tratar debe de ser filtrada, permitiendo el paso del agua únicamente con turbiedad de 5 – 10PPm (solo remueve sales minerales no los sedimentos).

La salmuera esta compuesta de cloruro de sodio (sal común), cuando la resina se agota, se le agrega más sal común.

Para la selección del suavizador mas apropiado para el agua de alimentación de las calderas se debe seguir el siguiente método:

Se divide la dureza del agua entre el factor de conversión 17.1 y se obtendrá los Granos de resina que se necesitan para suavizar un galón de agua (GPG = Granos Por Galón).

$$\text{Dureza total (ppm)} \div 17.1 = \text{GPG (Granos por galón)}$$

La dureza del agua de la capital de Guatemala se encuentra en promedio de 60 a 70 ppm.

$$65(\text{ppm}) \div 17.1 = 3.8011\text{GPG}$$

Se multiplica los GPG por el consumo de agua diario (Galones por día), para obtener los granos necesarios para suavizar toda el agua que se consume en un día.

$$\text{GPG} \times \text{Galones por día} = \text{Granos necesarios en un día}$$

3.8011GPG x 20,000 galones por día = 76,023.3918123 granos

Luego se determina la cantidad de resina, es necesario definir cuánta sal se requiere para regenerar. Si la regeneración se hace con 15 lb de sal por cada pie cúbico (ft^3) de resina, entonces se obtendrá mayor capacidad de resina, pero un mayor consumo de sal. Por lo contrario, si se regenera con 5 lb de sal por cada pie cúbico (ft^3) de resina se obtendrá menor capacidad de resina pero un ahorro de sal.

1 ft^3 = 30,000 granos por 15 lb. de sal

1 ft^3 = 25,000 granos por 10 lb. de sal

1 ft^3 = 15,000 granos por 5 lb. de sal

d) Areación:

Utiliza un equipo llamado desareador, este método permite remover las impurezas volátiles o los gases indeseables en el agua, entre ellos están: el bióxido de carbono (CO_2), oxígeno(O_2), amoníaco (NOH_3), dióxido sulfuroso(H_3S), la materia orgánica, etc. En este método también es oxidada y reduce el hierro (Provoca oxidación) y el magnesio, que son removidos por sedimentación y filtrado. Los tipos de desareador son mecánicos y químicos.

e) Calentamiento:

Este método, reduce la dureza y alcalinidad para la cual se debe de contar con suministros de vapor vivo o de escape para el calentamiento (utilización de intercambiadores de calor), este método se limita usualmente para preparación del agua de alimentación de la caldera.

2.1.4.2.2. Tratamiento interno

El propósito principal del tratamiento del agua de calderas que se recomienda (tratamiento químico) es prevenir la formación de adherencias o incrustaciones en la superficie metálica interna de la caldera, resultantes de las impurezas residuales que han logrado llegar al interior de la misma (gases, oxígeno, bióxido de carbono, amoníaco, etc., así como sales calcio, magnesio, sílice principalmente).

En el análisis de las calderas del hospital se observa que el sistema se encuentra libre de dureza, existen mejorías en cuanto al nivel de alcalinidad que mejora el mantenimiento de la correcta transformación de lodos por lo que se recomienda el suministro de soda al sistema diariamente.

Se debe mantener el régimen de purga, mínimo una vez por día ya que el nivel de concentración se encuentra estable por lo que no existe el riesgo de contaminar el vapor.

Cuando la temperatura de alimentación está por los 75° C se recomienda elevar la temperatura para reducir la demanda de sulfitos.

2.1.5. Equipos para el manejo de agua

Para el manejo del agua de calderas se utilizan dos tipos de bombas las cuales ya tienen sus años de operación y cada vez necesitan de un mayor cuidado y de mantenimiento preventivo.

2.1.5.1.1. Bomba de agua de alimentación

Las bombas de alimentación que se encuentran dentro de las instalaciones están en buen estado pero se les debe brindar un mantenimiento adecuado y estricto.

Se recomienda la compra de otra bomba de alimentación y para desarrollarlo se debe tener en cuenta la capacidad de la bomba de alimentación que debe ser de:

El caudal de la bomba de alimentación de agua a la caldera, se selecciona entre 0.09 a 0.12 GPM x BHP (Caldera) a una presión igual a la de la caldera (ejemplo, la caldera 1 genera vapor a 80 psi., entonces la bomba debe mantener una presión de 80 psi.).

0.11 GPM x 300BHP (teóricos) = 33 galones por minuto

0.11 GPM x 182BHP (reales) = 20.02 galones por minuto

Para el cálculo de la potencia del motor que deberá impulsar esta bomba, se cuenta con la fórmula siguiente:

$$HP = (8.33 \text{ G} \times \text{TDH} \times g_e) / 3300 \times \eta$$

Donde:

G = 33 galones por minuto

TDH = 80psi * 2.31 pies H₂O/1psi = 184.8pies de H₂O

$g_e = 1$

$\eta = 0.75$

$$HP = (8.33 \times 33 \text{ gpm} \times 184.8 \text{ pies de H}_2\text{O} \times 1) / 3300(0.75)$$

HP = 20.52 HP (caldera al 100%)

HP = $(8.33 \times 20 \text{gpm} \times 184.8 \text{pies de H}_2\text{O} \times 1) / 3300(0.75)$

HP = 12 HP (caldera con funcionamiento actual)

Es importante no sobredimensionar la capacidad de la bomba, porque a largo plazo se presentarán daños en la caldera.

El precalentamiento del agua se realiza para eliminar el oxígeno disuelto en el agua de alimentación. Tener en cuenta que temperaturas mayores a 80° C en el agua de alimentación a las calderas, causan problemas de cavitación en las bombas (no bombean) y por consiguiente su pronto deterioro y riesgos para la caldera, al no haber un eficiente suministro de agua. Recomendable establecer una temperatura regulada de 70° C, en el agua de alimentación a la caldera, para evitar estos contratiempos.

2.1.5.1.2. Bomba dosificadora de químico

Las bombas dosificadoras pertenecen a la familia de las bombas volumétricas alternativas. A diferencia de las bombas de tipo centrífugo, que generan una velocidad, las bombas dosificadoras generan una cilindrada.

Para la bomba dosificadora se desarrollará la forma en que debe ser revisada diariamente como mantenimiento preventivo ya que el estado de la misma permite prever que sin un buen mantenimiento aplicado podría dejar de funcionar en poco tiempo.

Recomendaciones para una revisión diaria:

- Verificar el nivel de aceite de la bomba, así como su funcionamiento.
- Verificar el estado de las líneas de succión y descarga de la bomba dosificadora para detectar posibles fugas.
- Verificar que la línea de succión se encuentre por debajo del nivel mínimo del tanque de la preparación de la solución.
- Abrir la válvula de descarga del tanque de solución que se va a utilizar.
- Abrir las válvulas de las líneas de succión y descarga.
- Regular la dosificación de la solución química por medio del dispositivo tipo tornillo de regulación.
- Poner en marcha la bomba dosificadora y realizar el aforo de la solución que se está bombeando hacia el punto de aplicación para regular la dosificación.

Al parar el equipo de bombeo se recomienda:

- Cerrar la válvula de descarga del tanque que se está utilizando.
- Cerrar las válvulas de las líneas de succión y descarga de la bomba.
- Lavar el sistema de dosificación, conectando agua a presión a la línea de succión y eliminando por la línea de descarga, a fin de evacuar completamente los sedimentos de las tuberías y de la caja de la bomba.

CONCLUSIONES

1. El desperdicio del agua es el mayor problema en el sistema de producción de vapor. Se concluye que el tanque de condensado no es el causante del problema en mención, y sí posee las capacidades para poder suministrar de la mejor forma a la caldera.
2. El problema del retorno excesivo de condensado y rebalse del tanque de alimentación, se debe a que realmente en el sistema no está retornando únicamente condensado, se verificó que las trampas fallidas contribuyen a dejar pasar vapor de regreso hacia el tanque de alimentación, y que los tanques de agua caliente colaboran también para este aspecto con sus serpentines dañados.
3. Se observa un gran deterioro en toda la red de vapor, que se debe solucionar de la forma más rápida posible, debido a que la tubería y el diferente equipo utilizado para distribuir y producir vapor, ya cumplió con sus horas de trabajo establecidas, y existe la posibilidad que pueda colapsar dentro de poco tiempo.
4. El tratamiento del agua de alimentación a la caldera, protege y prolonga la vida de los equipos, líneas de vapor y condensado; manteniendo libre de incrustación los tubos dentro de la caldera, es posible obtener una operación más continua, eficiente y un ahorro muy grande de combustible, ayuda a que el vapor distribuido sea de mejor calidad y optimiza la transferencia de calor.

5. Los instrumentos y equipos de medición y control de las variables de operación de las calderas, y el control estricto y adecuado de las mismas, son de vital importancia para que el sistema de generación de vapor, funcione en forma segura, eficiente y confiable.

6. El mantenimiento de todos los equipos e instalaciones del sistema para producción y distribución de vapor, es importante de ahora en adelante, debido a que se encuentra en mal estado por el tiempo.

7. La reparación e implementación de la propuesta que se desarrolló en el presente trabajo, es de gran importancia para que el hospital cuente con una red de vapor que satisfaga las necesidades requeridas por los diferentes servicios, y el aprovechamiento del agua que se desperdicia diariamente.

RECOMENDACIONES

A la gerencia del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

1. Seguir detalladamente las propuestas que se desarrollaron en el capítulo dos, para poder solucionar aspectos técnicos en cuanto a la reparación y restauración de la red de vapor, porque realmente el sistema se encuentra en mal estado.
2. Utilizar el presente documento como referencia para verificar la problemática de la producción y distribución de vapor, porque es importante contar con ideas claras de lo que está ocurriendo actualmente en las instalaciones.
3. Cambiar las trampas de vapor del sistema, por trampas termodinámicas, para el funcionamiento óptimo de la red, ya que son más eficientes por el tipo de instalación que se presenta y ocurre menor pérdida de calor dentro de ellas, con respecto a otro tipo.

Al personal de mantenimiento

4. Las inspecciones generales se deben realizar concientemente, detectando fugas en los sistemas y equipos, así como las condiciones de funcionamiento de los mismos, haciendo los reportes y correcciones pertinentes para mantener en buenas condiciones el sistema de distribución de vapor.

5. La forma de implementación de las propuestas descritas, se deben desarrollar de una forma integral, ya que los accesorios en mal estado podrían dañar las piezas o maquinaria que se encuentra en buen estado.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Manual de Calderas marca Cleaver & Brooks. Modelo CB-600-300.
2. Manual para el curso Plantas de Vapor. Año 2004.
3. CONTRERAS Godoy, Jorge. Minimizando impactos ambientales y económicos, a través de manejos adecuados de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento. Cek de Centroamérica. Guatemala. Guatemala, 1989.
4. Alkemy S.A. Datos tomados de las calderas y de químicos utilizados.
5. ALVARADO Molina, Gustavo Adolfo. Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1986.
6. MARROQUÍN Cárdenas, Julio. Curso de plantas de vapor. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1992.
7. MEDRANO Gómez, Luis Roberto. Análisis para el mejoramiento de la eficiencia de operación de las calderas de vapor del Hospital San Juan De Dios. Tesis de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1993.

8. Herrera Lainez, Dennis Fernando. Cálculo de una planta piloto de vapor para la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Espol. Tesis de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador, 1995.

9. Guía de estudios para el curso de mantenimiento de hospitales. Tesis de Ing. Mecánica Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

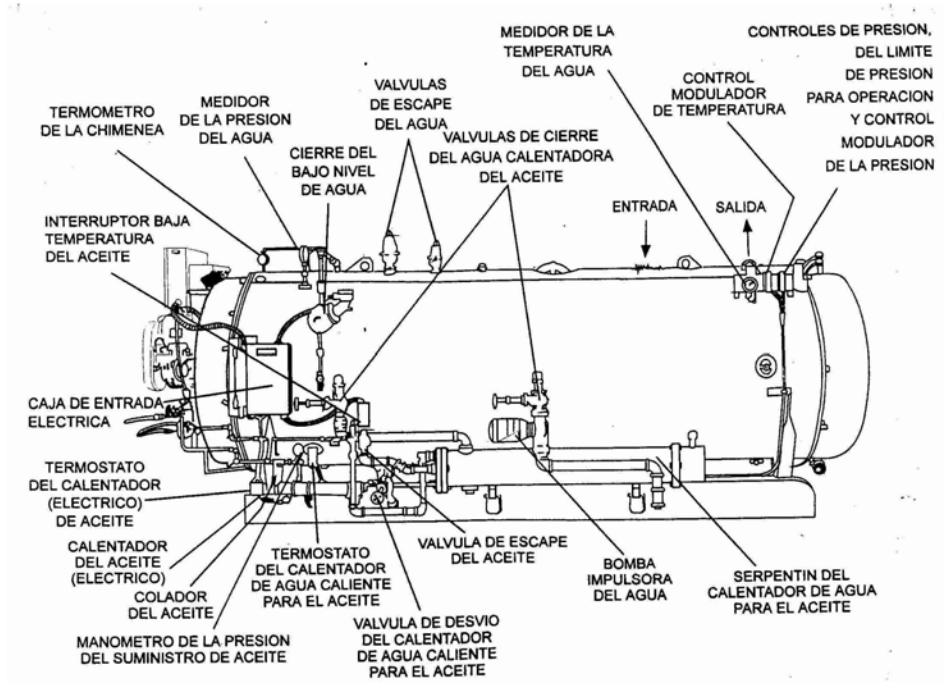
ANEXOS

Figura 19. Datos técnicos de calderas Cleaver & Brooks

MODEL CB STEAM BOILERS 15 HP THROUGH 700 HP		dimensions and ratings (FOR U.S. ONLY)																	
RATINGS sea level to 3000 ft ***																			
Boiler HP	†15	†20	†30	†40	50	60	70	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Rated Capacity in lbs steam/hr (212 F)	518	690	1,305	1,380	1,725	2,070	2,415	2,760	3,450	4,313	5,175	6,900	8,625	10,350	12,075	13,800	17,250	20,700	24,150
BTU Output (1000 BTU/hr)	502	670	1,004	1,339	1,674	2,009	2,343	2,678	3,348	4,184	5,021	6,695	8,369	10,043	11,716	13,390	16,738	20,085	23,432
EDR steam gross, sq. ft	2,090	2,790	4,185	5,580	6,970	8,370	9,760	11,160	13,960	17,450	20,920	27,900	34,900	41,850	48,820	55,800	69,750	83,700	97,640
APROXIMATE FUEL CONSUMPTION ... at rated capacity																			
Light Oil GPH*	4.5	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	30.0	37.5	45.0	60.0	74.5	89.5	104.5	119.5	149.5	179.5	209.0
Heavy Oil GPH**	-	-	-	-	14.0	16.5	19.5	22.5	28.0	35.0	42.0	56.0	69.5	83.5	97.5	111.5	139.5	167.5	195.5
GAS CFH																			
500 BTU-mfg.	1,250	1,670	2,510	3,350	4,190	5,020	5,860	6,700	8,370	10,460	12,550	16,740	20,920	25,110	29,300	33,500	41,850	50,200	58,600
800 BTU-mixed	789	1,045	1,570	2,095	2,615	3,140	3,665	4,190	5,235	6,540	7,850	10,460	13,080	15,695	18,315	20,940	26,155	31,375	36,610
1000 BTU-natural	625	835	1,255	1,675	2,095	2,510	2,930	3,350	4,185	5,230	6,280	8,370	10,460	12,555	14,660	16,750	20,925	25,100	29,300
GAS (therms per hr)	6.3	8.4	12.6	16.8	21.0	25.1	29.3	33.5	41.9	52.3	62.8	83.7	104.6	125.5	146.5	167.5	209.3	251.0	293.0
* Based on 140,000 BTU/Gal. ** Sea level to 2,500 ft. for 300 and 350 HP sizes ** Based on 150,000 BTU/Gal. † No. 4, No. 5 and No. 6 Oil not available in 15-40 HP Range																			
POWER REQUIREMENTS sea level to 3000 ft, 60 Hz																			
Blower Motor, HP All Models Except Gas	1	1	1½	2	2	2	2	**	3	5	7½	10	7½	***	***	***	▲	▲▲	▲▲▲
Gas Models Only	1	1	1½	2	2	2	2	3	5	5	10	7½	7½	15	15	10	15	20	30
Oil Pump Motor, HP No. 2 Oil	††	††	††	††	½	½	½	½	½	½	½	½	½	¾	¾	¾	¾	¾	1
No. 4 Oil	-	-	-	-	½	½	½	½	½	½	½	½	-	-	-	-	-	-	-
No. 5 & No. 6 Oil	-	-	-	-	½	½	½	½	½	½	½	½	½	¾	¾	¾	¾	¾	¾
Oil Heater, KW No. 4 Oil	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-
No. 5 Oil & No. 6 Oil	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	15 ^{147/14}	7½	7½	7½	7½	7½	7½
Air Compressor	← Air Compressor Belt-Driven From Blower Motor →				2	2	2	2	2	← Air Compressor Bel-Drive From Blower Motor →						5	5	5	5

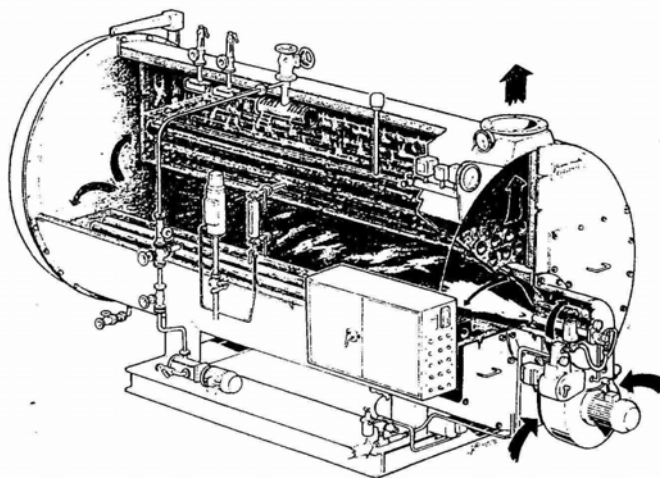
FUENTE: Cek de Centroamérica, minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.

Figura 20. Partes de caldera pirotubular marca Cleaver & Brooks



FUENTE: Cek de Centroamérica, minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.

Figura 21. Vista interior de caldera pirotubular marca Cleaver & Brooks



FUENTE: Cek de Centroamérica, minimizando impactos ambientales y económicos a través de manejos de calderas de vapor y sistemas de enfriamiento.

Figura 22. Tubería de vapor en malas condiciones y by-pass



Figura 23. Tubería de vapor con material aislante en túnel de distribución de vapor del Hospital Roosevelt



Figura 24. Múltiple de admisión en cuarto de calderas



Figura 25. Desperdicio de condensado, viene de rebalse del tanque de alimentación

