



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS
ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL
SEGURO SOCIAL**

Herbert Castillo Mendoza

Asesorado por el Ing. Rodolfo Estuardo Quiroa Melendres

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS
ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL
SEGURO SOCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HERBERT CASTILLO MENDOZA

ASESORADO POR EL ING. RODOLFO ESTUARDO QUIROA MELENDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS
ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL
SEGURO SOCIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 20 de marzo de 2018.



Herbert Castillo-Mendoza

Guatemala, marzo de 2019

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para comunicarle que he asesorado el trabajo de graduación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL SEGURO SOCIAL”**, al estudiante **HERBERT CASTILLO MENDOZA**, quien se identifica con Registro Académico **2012 12981** y con **DPI 2417 69825 0101**, el cual ha sido completado cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos planteados, además de adecuarse al contenido autorizado según protocolo.

De acuerdo a lo anterior, apruebo el contenido y solicito autorizar el trámite correspondiente.

Atentamente,



Rodolfo Estuardo Quiroa Meléndres
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 10883

Ing. Rodolfo Estuardo Quiroa Meléndres
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 10883



REF.REV.EMI.051.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL SEGURO SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Herbert Castillo Mendoza**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2019.

Miriam Patricia Rubio Contreras
INGENIERA INDUSTRIAL
COL: 4074

/mgp



REF.DIR.EMI.108.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERÍA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL SEGURO SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Herbert Castillo Mendoza**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2019.

/mgp



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR PARA LAS ÁREAS DE CENTRAL DE EQUIPOS, LAVANDERIA Y COCINA DE UN HOSPITAL DEL SEGURO SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Herbert Castillo Mendoza**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|--------------------|--|
| Dios | Por ser una importante influencia en mi carrera y darme la sabiduría para llevar a cabo este proceso con éxito. |
| Mis padres | Por el apoyo incondicional que he recibido para cumplir todas mis metas e inspirarme cada día a ser mejor persona. |
| Mi hermana | Por ser parte importante de mi vida y porque ser su ejemplo me motiva cada día para ser mejor. |
| Mis abuelos | Por estar siempre para mí, y acompañarme en los momentos importantes de mi vida. |

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por formarme profesionalmente, al servicio de la sociedad.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento necesario para ser un profesional capaz y competitivo.
Mi asesor	Ing. Rodolfo Quiroa por haber brindado el seguimiento oportuno durante la realización de este estudio.
Instituto Guatemalteco de Seguridad Social	Por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Creación del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social..	1
1.2. Información general.....	1
1.2.1. Historia	1
1.2.2. Ubicación	2
1.2.3. Misión	2
1.2.4. Visión.....	3
1.3. Tipo de organización	3
1.3.1. Organigrama.....	3
1.3.2. Descripción de puestos	4
1.4. Descripción de los elementos de la red de distribución de vapor.....	5
1.4.1. Calderas	5
1.4.1.1. Definición.....	5
1.4.1.2. Características.....	5
1.4.1.3. Tipos de caldera	6
1.4.1.3.1. Caldera pirotubular ..	6
1.4.1.3.2. Caldera acuotubular	7

1.4.2.	Tuberías	8
1.4.2.1.	Tubería principal.....	9
1.4.2.2.	Retorno de condensado	10
1.5.	Trampa de vapor	10
1.5.1.	Características de trampas de vapor.....	11
1.5.2.	Clasificación de trampas de vapor	12
1.6.	Generación de energía a base de vapor	15
1.6.1.	Características del vapor.....	16
1.6.2.	Clasificación del vapor	17
2.	SITUACIÓN ACTUAL	19
2.1.	División de Mantenimiento	19
2.1.1.	Actividades	19
2.1.2.	Áreas de trabajo	19
2.2.	Procesos que requieren de vapor dentro de un hospital... 20	
2.2.1.	Esterilización de instrumentos quirúrgicos y recipientes.....	20
2.2.2.	Lavado, secado y planchado de utensilios	21
2.2.3.	Cocción de alimentos	21
2.3.	Descripción del equipo disponible.....	22
2.3.1.	Autoclaves.....	22
2.3.2.	Lavadoras industriales	22
2.3.3.	Secadoras industriales	23
2.3.4.	Planchadoras industriales	24
2.3.5.	Marmitas industriales	25
2.4.	Sistema de generación de vapor.....	26
2.4.1.	Insumos para funcionamiento de caldera.....	26
2.4.1.1.	Combustible	27
2.4.1.2.	Agua.....	28

	2.4.1.3.	Chimenea	30	
2.5.		Área de central de equipos.....	30	
	2.5.1.	Características.....	31	
	2.5.2.	Descripción del proceso	31	
2.6.		Área de lavandería	33	
	2.6.1.	Características.....	33	
	2.6.2.	Descripción del proceso	34	
2.7.		Área de cocina.....	35	
	2.7.1.	Características.....	35	
	2.7.2.	Descripción del proceso	36	
3.		PROPUESTA PARA REALIZAR EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR.....	39	
	3.1.	Propuesta de caldera	39	
		3.1.1. Condiciones de operación	40	
	3.2.	Generación de vapor	42	
		3.2.1. Exceso de suministro de aire.....	42	
		3.2.2. Controles de temperatura en gases de combustión	44	
	3.3.	Pérdida de calor en la red.....	45	
		3.3.1. Aislamiento térmico en la red.....	46	
			3.3.1.1. Aislante térmico en tuberías de distribución.....	46
			3.3.1.2. Aislante térmico en accesorios de tuberías.....	46
	3.4.	Piernas colectoras	47	
		3.4.1. Características generales	47	
	3.5.	Expansión térmica de tubería	48	
		3.5.1. Junta tipo fuelle.....	49	

3.5.2.	Junta tipo omega.....	49
3.5.3.	Junta tipo telescópica.....	50
3.6.	Trampas de vapor	51
3.6.1.	Características de una trampa de vapor	51
3.6.2.	Selección de trampas de vapor	51
3.6.3.	Ubicación de trampas de vapor.....	52
3.6.4.	Factor de seguridad	53
3.6.5.	Máxima presión permitida	55
3.7.	Soportes de la red de distribución de vapor	55
3.7.1.	Características generales.....	55
3.7.2.	Ubicación de soportes.....	57
3.7.3.	Espaciamientos de soportes	57
3.7.4.	Cargas en soportes	58
3.8.	Análisis financiero	59
3.8.1.	Costos de implementación	59
3.8.2.	Período de retorno de inversión	60
3.8.3.	Valor presente neto	62
3.8.4.	Tasa interna de retorno (TIR).....	63
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	65
4.1.	Combustibles para calderas.....	65
4.1.1.	Combustibles sólidos	65
4.1.2.	Carbón mineral.....	65
4.1.3.	Bagazo de caña	66
4.1.4.	Combustibles líquidos	67
4.1.4.1.	Manejo de los combustibles líquidos.....	67
4.1.5.	Gases combustibles	68
4.2.	Área de autoclaves.....	69

4.2.1.	Cálculo del consumo de vapor.....	69
4.3.	Área de lavandería	69
4.3.1.	Cálculo de consumo de vapor	70
4.3.1.1.	Lavadoras industriales.....	70
4.3.1.2.	Secadoras industriales	70
4.3.1.3.	Planchadoras industriales.....	71
4.4.	Área de cocina.....	71
4.4.1.	Cálculo del consumo de vapor.....	72
4.5.	Capacidad de producción de vapor de la caldera.....	72
4.5.1.	Rendimiento térmico de la caldera	74
4.5.2.	Características de la caldera	74
4.6.	Diseño de la red de vapor.....	75
4.6.1.	Establecer diámetro de tuberías	75
4.6.2.	Establecer cargas de condensado.....	78
4.6.3.	Establecer dimensiones de piernas colectoras.....	82
4.6.4.	Selección de trampas de vapor	83
4.6.5.	Juntas de expansión térmicas	85
4.6.6.	Aislamiento térmico de las tuberías	85
4.7.	Pre calentador de aire para caldera	86
4.7.1.	Control de nivel de agua.....	87
4.7.2.	Controles de purga	88
4.8.	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.....	89
4.8.1.	Consumo de búnker	89
4.8.2.	Pretratamiento del agua	90
4.8.3.	Pre calentamiento del aire	92
4.8.4.	Filtros de aire	94
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA.....	95
5.1.	Mediciones	95

5.1.1.	Controles de contaminantes en emisiones.....	95
5.1.2.	Control de presión de trabajo	96
5.2.	Drenajes y combustibles	97
5.2.1.	Control y supervisión	98
5.3.	Mejora continua.....	99
5.3.1.	Inspecciones a caldera.....	100
5.3.2.	Nivel óptimo de dureza del agua	101
5.4.	Capacitación del recurso humano	102
5.4.1.	Evaluación del personal	103
5.5.	Análisis costo beneficio	104
5.6.	Auditorías	105
5.6.1.	Internas	105
5.6.2.	Externas	105
CONCLUSIONES.....		107
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113
ANEXOS.....		115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama General del IGSS	4
2.	Caldera pirotubular “Cleaver Brooks”	7
3.	Caldera acuotubular “Cleaver Brooks”	8
4.	Trampa de expansión de líquido	12
5.	Trampa de presión balanceada.....	13
6.	Trampa bimetálica.....	14
7.	Ciclo de Rankine ideal simple	18
8.	Lavadora industrial para el área de lavandería	23
9.	Secadora industrial para el área de lavandería.....	24
10.	Planchadora tipo prensa	25
11.	Marmita industrial para la cocción de alimentos.....	26
12.	Diagrama del proceso de esterilización.....	32
13.	Diagrama de operaciones de lavandería.....	34
14.	Diagrama de operaciones de cocina.....	36
15.	Placa de especificaciones de caldera CB600-200	39
16.	Aparato de Orsat.....	43
17.	Arreglo de tubería y pierna colectora	47
18.	Fuelle tipo fuele	49
19.	Junta tipo omega.....	50
20.	Junta telescópica	50
21.	Ubicación de trampas de vapor.....	53
22.	Resultados de la corrosión en tubería.....	91
23.	Pre calentador de aire regenerativo	93

TABLAS

I.	Descripción de lavadora industrial Pellerin Milnor.....	23
II.	Descripción secadora industrial Imesa	24
III.	Descripción planchadora industrial tipo prensa	25
IV.	Requerimientos agua de alimentación, según norma BS-2486	29
V.	Requerimientos de agua para caldera, según norma BS-2486	29
VI.	Capacidad de producción de vapor para calderas pirotubulares CB.....	40
VII.	Niveles recomendados de exceso de aire	44
VIII.	Dimensión de piernas colectoras	48
IX.	Factor de seguridad para trampas	54
X.	Costo de equipo.....	60
XI.	Flujo de efectivo para un año calendario	61
XII.	Tasas promedio	62
XIII.	Valor presente neto.....	63
XIV.	Tasa interna de retorno.....	63
XV.	Requerimientos de autoclave	69
XVI.	Consumo de vapor de lavadora industrial.....	70
XVII.	Consumo de vapor de secadora industrial.....	71
XVIII.	Consumo de vapor de planchadora industrial tipo prensa	71
XIX.	Consumo de vapor de marmita industrial	72
XX.	Consumo total de vapor.....	72
XXI.	Resumen de consumo	73
XXII.	Longitud de tuberías	77
XXIII.	Flujo de condensado.....	78
XXIV.	Carga de condensado por radiación	80
XXV.	Cargas de precalentamiento.....	81
XXVI.	Diámetro y longitud de piernas colectoras	83

XXVII.	Tipos de trampas de vapor.....	84
XXVIII.	Espesores de aislamiento	85
XXIX.	Propiedades físicas y químicas del búnker C (<i>fueloil</i>)	90
XXX.	Requerimientos agua alimentación calderas de vapor.....	92
XXXI.	Niveles aceptables de emisión gases	96
XXXII.	Índices de dureza del agua	101
XXXIII.	Incrustación potencial de la caldera	102

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
hf	Entalpía de líquido saturado
hg	Entalpía de vapor sobrecalentado
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
h	Hora
kg	Kilogramo
KJ	Kilojulio
lb	Libra
m	Metro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
p	Presión
s	Segundo

GLOSARIO

Aislante térmico	Material utilizado en construcción y en la industria, debido a su alta resistencia térmica, que reduce el intercambio de calor hacia otros cuerpos.
Auditor	Persona autorizada para realizar una auditoría.
Auditoría	Proceso sistemático, independiente y documentado de evaluación y revisión para obtener evidencias del nivel de cumplimiento de los procesos establecidos, dando a conocer no conformidades y oportunidades de mejora en cada área definida para auditar.
Auditoría interna	Actividad de aseguramiento y consultoría objetiva e independiente diseñada para agregar valor y mejorar las operaciones de una organización, ayudando a alcanzar objetivos a partir de mejorar evaluar y mejorar la eficacia de los procesos.
bar	Unidad de presión.
Búnker	Combustible pesado.
Combustible	Material que libera energía calórica al quemarse.

Combustión	Reacción que libera energía a partir de la interacción resultante entre el oxígeno, un material combustible y el calor.
Condensado	Cambio de estado de la materia, de forma gaseosa a forma líquida.
Convección	Forma de transferencia de calor, se produce por medio de un fluido que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.
Corrosión	Proceso de destrucción de los metales y sus aleaciones.
Energía	Capacidad que posee la materia para producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
Incrustación	Residuos minerales adheridos a la superficie de algunos cuerpos.
Línea de vapor	Conducto que transporta el vapor y lo hace llegar a los procesos que lo requieran.
<i>Manifold</i>	Sistema por el cual se recogen flujos de gases o líquidos en un solo lugar.

Mantenimiento	Acciones para conservar o restaurar artículos para evitar su degradación y prolongar su tiempo de vida útil.
ppm	Partes por millón.
Procedimiento	Conjunto de acciones u operaciones que deben realizarse de determinada forma, para obtener siempre el mismo resultado en las mismas condiciones.
Proveedor	Persona o empresa que abastece de bienes o servicios a grandes grupos, asociaciones, comunidades, empresas, entre otros.
psia	Presión absoluta.
psi	Presión libra por pulgada cuadrada.
Purga	Cantidad de agua residual que se evacua en el sistema de la caldera.
Problema	Se dará si el concepto es demasiado largo por lo que deberá corregir los tabuladores o utilizar su ingenio.
Temperatura	Es la intensidad o nivel de energía calorífica y es indicador de la velocidad molecular.

TIR	Tasa interna de retorno. Es la rentabilidad que ofrece una inversión.
Trampa de vapor	Dispositivo utilizado para drenar el condensado de un sistema, para mantener la calidad del vapor de la red de distribución.
Tubería principal	Conductos que transportan el vapor desde la caldera hasta las áreas en donde se encuentran los equipos que utilizan el vapor.
Tubería ramales	Transportan el vapor desde las tuberías principales hasta los equipos calentados con vapor.
Válvula	Dispositivo usado para regular el flujo de una sustancia. De modo que sea conducida en un único sentido.
VAN	Valor actual neto. Criterio para actualizar los cobros y pagos de un proyecto para determinar si una inversión resulta rentable.
Vapor	Fase gaseosa en que se transforma una sustancia, a partir de temperaturas próximas a la del punto de ebullición.

RESUMEN

Los hospitales del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, son establecimientos que se encuentran continuamente concurridos de personas a las cuales se les debe brindar atención, por lo que la institución busca formas alternativas de atender a sus afiliados, optimizando sus recursos humanos y materiales.

En este caso, se realizó un estudio para diseñar un sistema capaz de generar y distribuir vapor en las áreas de central de equipos, lavandería y cocina de un hospital. Se definieron los procedimientos por llevar a cabo en cada una de las áreas, además de proporcionar las especificaciones técnicas de los equipos necesarios para el funcionamiento eficiente de este sistema.

La administración eficiente implica que todas las actividades involucradas en la generación y aprovechamiento de energía, sean diseñadas e implementadas de forma óptima para demostrar el beneficio que representa la inversión de este proyecto.

Esta investigación propone que a través del uso de herramientas de ingeniería se puede diseñar y gestionar un sistema de generación y distribución de energía que permita satisfacer la creciente demanda de servicios hospitalarios. Así también, se establecieron parámetros de mejora continua para mantener un servicio constante, rentable y con la calidad requerida.

OBJETIVOS

General

Elaborar el diseño del sistema de distribución y generación de vapor para las áreas de central de equipos, lavandería y cocina de un hospital del Seguro Social.

Específicos

1. Dimensionamiento de la caldera para el funcionamiento eficiente de los equipos en las diferentes áreas del hospital.
2. Determinar los insumos necesarios para la producción de vapor para minimizar el costo de funcionamiento.
3. Al determinar los parámetros adecuados, para el funcionamiento óptimo en la distribución y generación de vapor, se mejorará la calidad de vapor utilizado.
4. Definir la capacidad de generación de vapor de la caldera para satisfacer la demanda de las diferentes máquinas disponibles.
5. Definir el diámetro de las tuberías de vapor, así como de sus accesorios para la distribución adecuada de la carga de vapor.

6. Conocer el nivel de impacto ambiental que produce el funcionamiento del sistema de vapor para la reducción de agentes contaminantes.
7. Establecer una guía sobre los parámetros que permitan el mejoramiento continuo del sistema de vapor para mantener el funcionamiento eficiente.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación será de utilidad y permitirá a las autoridades de la institución, conocer el diseño y el funcionamiento del sistema, así como los beneficios económicos que se obtienen con su implementación.

En el primer capítulo se desarrolla la información correspondiente a la institución y los conceptos necesarios para comprender de forma óptima este trabajo de graduación.

En el segundo capítulo, se demuestran los recursos con los que la institución cuenta y su importancia dentro de los procesos del hospital. A partir de análisis y observaciones se determinan los requerimientos para que el diseño del sistema de vapor pueda satisfacer las necesidades del hospital.

En el tercer capítulo se hace la propuesta del diseño del vapor a partir de la aplicación de conceptos y estudios correspondientes para el cumplimiento de los objetivos trazados, a través de herramientas ingenieriles.

En el cuarto capítulo se presenta la propuesta de implementación, en donde se demuestra el proceso por seguir para cumplir con los objetivos planteados en el capítulo tres.

Por último, el capítulo cinco, considera lo desarrollado en los capítulos tres y cuatro, para establecer el control de los nuevos procedimientos y establecer parámetros de verificación que permitan la obtención de resultados óptimos.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Creación del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social

La creación del Instituto Guatemalteco de Seguridad se oficializa con la promulgación de la Constitución Política posterior a los gobiernos de la Revolución del 20 de octubre de 1944, en el artículo 63 del Capítulo Primero, en donde se incluye entre las Garantías Sociales, la creación de un establecimiento de Seguro Social obligatorio, debido a las condiciones de atraso y miseria social tan pronunciadas.

El objetivo fue mejorar de manera paulatina y sistemática el nivel de vida de la población, a partir de brindar protección mínima y obligatoria a base de una contribución proporcional a los ingresos de cada uno y de la distribución de beneficios a cada contribuyente o a sus familiares que económicamente dependieran de él.

1.2. Información general

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social es una institución autónoma dedicada a brindar servicios de salud y seguridad social, para lo cual cuenta con hospitales, complejos hospitalarios, unidades de asistencia y consultorios.

1.2.1. Historia

Durante el gobierno del entonces presidente de la república de Guatemala el doctor Juan José Arévalo Bermejo, se gestionó la visita de dos expertos en

materia de Seguro Social, el Lic. Oscar Barahona Streber y Walter Dittel, quienes publicaron un libro llamado *Bases de la seguridad social* después de realizar estudios económicos, geográficos y culturales en Guatemala.

Según el estudio realizado, en 1945 se creó el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, como una institución autónoma que se encargaría de brindar servicios de salud y seguridad social a la población afiliada.

1.2.2. Ubicación

El Hospital General de Enfermedades se encuentra ubicado en la 9 calle 7-55 zona 9, en la ciudad de Guatemala.

Además, el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social cuenta con otras unidades metropolitanas, entre ellas, el Hospital “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” en zona 6, el Hospital General de Accidentes “Ceibal” en zona 7, Complejo Hospitalario Pamplona en zona 12 y Unidad Periférica en zona 11.

1.2.3. Misión

La misión del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, establece lo siguiente: “proteger a nuestra población asegurada, contra la pérdida o deterioro de la salud y del sustento económico, debido a las contingencias establecidas en la ley; administrando los recursos en forma adecuada y transparente”.¹

¹ IGSS. [en línea] [fecha de consulta: 10 mayo 2018]. Disponible en: <http://igssgt.org/>

1.2.4. Visión

Como visión, el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, establece lo siguiente: “ser la institución moderna de Seguro Social, caracterizada por su permanente crecimiento y desarrollo, que cubre a la población que por mandato legal le corresponde, así como por su solidez financiera, excelente calidad de sus prestaciones con eficiencia y transparencia de su gestión.”

1.3. Tipo de organización

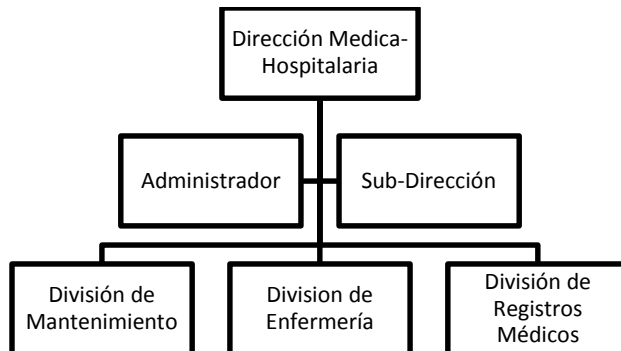
El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social está bajo la dirección de la junta directiva, la cual es su autoridad suprema y le corresponde la administración de actividades. Está integrada por miembros propietarios y miembros suplentes.

La junta directiva está formada por el presidente, primer vicepresidente, segundo vicepresidente, vocal I, vocal II, vocal III y secretario.

1.3.1. Organigrama

La estructura organizacional de un hospital del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, se basa en la División de Mantenimiento, Enfermería y Registros Médicos, que, en manera conjunta con la Dirección y Administración, permiten la correcta operación de la institución.

Figura 1. **Organigrama General del IGSS**



Fuente: elaboración propia.

1.3.2. Descripción de puestos

La organización del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, funciona con los lineamientos que proporcionan tres divisiones fundamentales. Cada división desempeña una labor específica dentro del correcto funcionamiento del hospital. Las tres divisiones que lo componen son:

- División de Mantenimiento: tiene a su cargo proporcionar servicios técnicos, para la correcta ejecución de los servicios que ofrece cada hospital.
- División de Enfermería: administra el personal encargado de brindar asistencia médica a los afiliados del Seguro Social.
- División de Registros Médicos: tiene a su cargo al personal administrativo. Además, administra los recursos operacionales y financieros con los que cuenta la institución.

1.4. Descripción de los elementos de la red de distribución de vapor

La red de distribución de vapor está integrada, principalmente, por una caldera, líneas de vapor, válvulas reguladoras de presión de vapor, trampas de vapor y líneas de retorno de condensado.

1.4.1. Calderas

Son máquinas con una amplia aplicación industrial debido al vapor generado a través de una transferencia de calor a presión constante y que es utilizado para esterilización, calentar fluidos y generar electricidad.

1.4.1.1. Definición

La caldera es un dispositivo industrial o máquina de ingeniería, que se encarga de la producción eficiente de vapor saturado a partir de un líquido, generalmente agua, el cual se calienta presión y temperatura constante para su uso posterior.

1.4.1.2. Características

La caldera produce calor a partir de quemar un combustible y se transmite al agua que circula por su interior. El calor se transfiere al agua por conducción, radiación y convección, debido a las altas temperaturas de los humos que elevan la temperatura de las partes metálicas de la caldera que se encuentran cubiertas por el agua.²

² KOHAN, Anthony. *Manual de calderas*. Madrid: McGraw-Hill, 2006. p.80.

Las calderas se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de servicio que prestan, con la forma y la posición de sus tubos, así como a la forma en que se distribuyen los gases y el agua. Puede ser de dos tipos: acuotubulares y pirotubulares.

Para la elección de la caldera se considera el servicio, el tipo de combustible disponible, la carga de vapor requerida, el tipo de instalación y otros factores económicos.

1.4.1.3. Tipos de caldera

De acuerdo con su funcionamiento y construcción, una caldera proporcionará el vapor necesario para utilizarlo en máquinas y equipos industriales. Cada diseño posee características específicas que regularán sus aplicaciones.

1.4.1.3.1. Caldera pirotubular

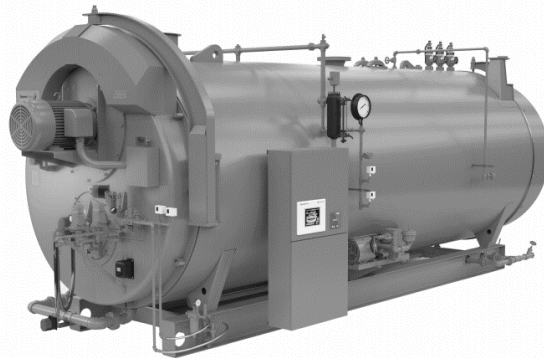
En este tipo de calderas, el humo y los gases calientes pasan dentro de los tubos, y el agua se encuentra en contacto con ellos, por el lado exterior. La caldera pirotubular es la más utilizada para procesos de calefacción, comerciales e industriales.

El diseño y configuración de la caldera depende de la transferencia de calor, de manera que a mayor cantidad de calor extraído del combustible se obtendrán mayores beneficios económicos.

Las calderas pirotubulares se clasifican en horizontales, cámara de combustión económica, cámara de combustión locomotora, tubos verticales y

verticales sin tubos. La caldera pirotubular de tubos horizontales es la de uso predominante en aplicaciones industriales y de calefacción, hasta 50 000 lb/h de capacidad. Arriba de esta capacidad generalmente se utilizan calderas acuotubulares. A manera de ejemplo, se presenta un modelo en la figura 2.

Figura 2. **Caldera pirotubular “Cleaver Brooks”**



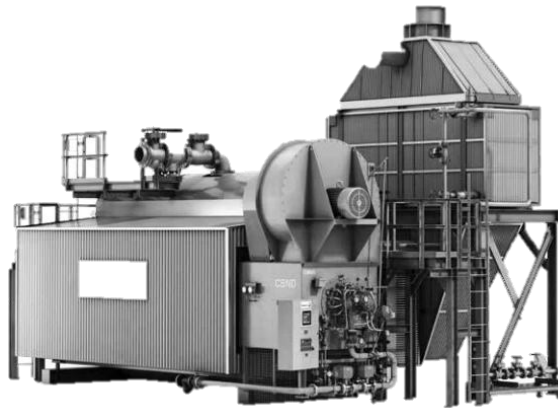
Fuente: Cleaver Brooks modelo CBL <http://cleaverbrooks.com/products-and-solutions/boilers/firetube/cbl/750-158%20CBL.pdf>. Consulta: 12 de mayo de 2018.

1.4.1.3.2. Caldera acuotubular

Este tipo de calderas se diferencia de las de tubos de humos, en que agua o vapor circula por dentro de los tubos y los gases calientes se encuentran en contacto con la parte externa. Se utilizan principalmente para procesos industriales en donde se requieren elevadas presiones o producciones de vapor, debido a que los tubos experimentan esfuerzos de tracción en vez de compresión, como ocurre con los tubos de humos. Las concentraciones de minerales producidas por el agua de alimentación son fáciles de remover con dispositivos de limpieza que utilicen agua o aire.

Las calderas acuotubulares tienen capacidades de producción de vapor de aproximadamente 2 000 000 lb/h. Las presiones oscilan entre 17 y 138 bar con temperaturas de vapor sobrecalentado con un máximo de 540°C (813°K). En la figura 3 se presenta a manera de ejemplo un modelo de esta caldera.

Figura 3. **Caldera acuotubular “Clever Brooks”**



Fuente: Calderas acuotubulares industriales.

<https://www.controlinteligente.com.mx/acuotubulares.pdf>. Consulta: 10 de mayo de 2018.

1.4.2. Tuberías

Las tuberías son conexiones que se utilizan para transportar fluidos de un equipo a otro para su buen funcionamiento. En la distribución del vapor la selección de tuberías es fundamental, ya que influirá en la eficiencia del sistema de vapor.

Entre los parámetros para seleccionar una tubería que cumpla con los requerimientos del proceso están el diámetro nominal, la presión de trabajo, la longitud, el espesor y el material de construcción.

Considerando las variables anteriores, se asegurará que la tubería seleccionada sea la indicada para trabajar según las temperaturas y presiones que sean requeridas, además de evitar posibles riesgos del proceso.

1.4.2.1. Tubería principal

La tubería principal es la encargada de transportar en su totalidad el vapor producido por la caldera, conservándolo bajo altas presiones de trabajo y entregándolo al *manifold* de distribución, el cual se encarga de distribuirlo en distintos ramales que lo dirigen a cada una de las áreas y equipos en los que lo requieran.

Para mantener una alta eficiencia del sistema se consideran aspectos como aislantes térmicos para las tuberías, para reducir la cantidad de calor perdido y también conservar las características del vapor y disminuir las posibilidades de generar condensado.

Para el diseño de la tubería principal se recomienda contar con una pendiente mínima de 1 % en dirección del sentido del flujo. Esta tubería debe ser fabricada de acero sin costura y según la presión a la que se someta puede ser cédula 40 o cédula 80 esto garantizará su calidad y resistencia.

Por último, se debe considerar la posición de los anclajes, ya que estos se encargarán de mantener la tubería fija ante el movimiento que se produzca debido a las altas velocidades a las que circula el condensado.

1.4.2.2. Retorno de condensado

Esta tubería permite evacuar el condensado que se forma en las tuberías de flujo de vapor, por lo que su función es esencial para el correcto desempeño del sistema. Esta tubería aporta mayor calidad al vapor durante su recorrido y reduce el efecto del golpe de ariete, el cual origina al no evacuar el condensado.

Recuperar el condensado permite ahorros de energía y agua en cualquier planta industrial, además de mejorar las condiciones de trabajo de los procesos. El condensado debe ser tratado para utilizarlo en calderas y contiene calor útil, lo cual disminuye la cantidad de calor que la caldera debe producir para generar vapor.

Debido a que el condensado generado posee una temperatura más elevada que la del agua de alimentación de la caldera, genera una evaporación más rápida. De esta manera se reducen los costos por operación, además el agua de condensado ha sido previamente tratada, lo que reduce la posibilidad de causar daños como incrustaciones a la caldera y tuberías.

1.5. Trampa de vapor

La trampa de vapor es una válvula que drena de manera automática el condensado de un recinto que contiene vapor cuando es necesario, permite al vapor fluir de manera controlada hacia la tubería de condensado. En la mayoría de las trampas de vapor también pasarán gases no condensables, sin dejarlos escapar. En la industria las trampas de vapor son comúnmente utilizadas para

regular el calor o mejorar la potencia mecánica. También son utilizadas para asegurarse que el vapor no es desperdiciado.³

1.5.1. Características de trampas de vapor

- Drenar el condensado sin dejar escapar el vapor: de acuerdo con esto, debe responder rápidamente, cerrándose, cuando detecte vapor fluyendo a través de ella, por lo que debe desperdiciar una mínima cantidad de vapor.
- Eliminación del condensado tan pronto como se forme: en la mayor parte de las aplicaciones de calentamiento, si una trampa de vapor no elimina el condensado rápidamente puede provocar la obstrucción del agua dentro del equipo, generando una baja calidad del producto y mayor tiempo para su producción.
- El funcionamiento depende de la presión diferencial a través de la trampa: la capacidad de descarga de la trampa puede afectarse por la contrapresión, por lo que debe funcionar satisfactoriamente en condiciones establecidas.
- Soportar cargas altas de condensado durante el arranque: debido a que las tuberías de distribución y equipo están frías la formación de condensado es más alta a comparación del sistema sobre la marcha. La trampa seleccionada debe soportar las cargas de inicio y de ejecución.

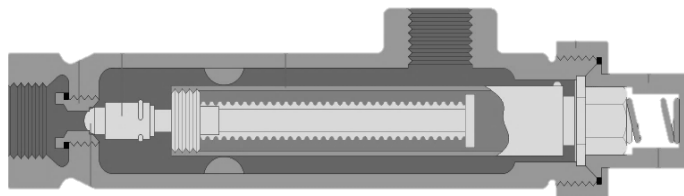
³ DIAZ, Víctor Hugo Hidalgo; ENCALADA, Jose Luis Palacios y PEÑA, Adrián Patricio. *Técnicas de gestión energética en sistemas de vapor*. Revista Politécnica, 2015, vol. 35, no 3, p. 11.

- Capacidad de eliminar gases no condensables: debido a que los gases condensables ocuparán el lugar del vapor, se formarán bolsas de aire que afectarán el proceso. Por lo tanto, la capacidad de ventilación de las trampas es esencial para la eliminación del aire no deseado.

1.5.2. Clasificación de trampas de vapor

- Termostático: las trampas termostáticas funcionan de acuerdo con el diferencial de temperatura del vapor y condensado que las rodea. Este tipo de trampas opera con materiales sensibles a los cambios de temperatura y se clasifican en:
 - Trampa de expansión de líquido (figura 4): funcionan con el diferencial de temperatura entre condensado frío y aire. El vapor incrementa la presión dentro del elemento termostático, ocasionando que la trampa se cierre. Este tipo de trampas también puede ser utilizado para ventilar aire en un sistema de vapor.

Figura 4. **Trampa de expansión de líquido**



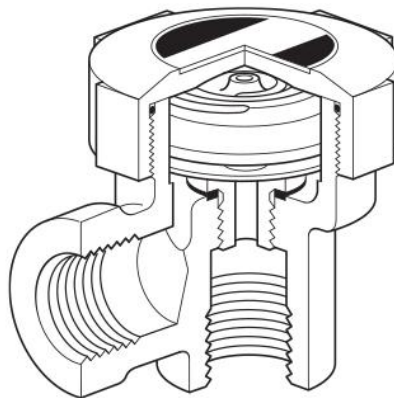
Fuente: Trampas de vapor. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermostatic-steam-traps.aspx>. Consulta: 12 de mayo de 2018.

- Trampa de presión balanceada (figura 5): se considera como una versión mejorada de la trampa termostática de expansión de líquido. Esta trampa, internamente, contiene una mezcla de alcohol sensible a la temperatura del vapor.

El flujo de condensado es controlado por el diferencial de temperatura entre la mezcla y el vapor, cuando la temperatura de la mezcla es más baja que el vapor, la trampa se encuentra llena de condensado, dejándolo salir a través del canal de salida.

A manera de ejemplo se presenta una trampa de vapor de este tipo, para conocer su estructura, en la figura 5.

Figura 5. **Trampa de presión balanceada**



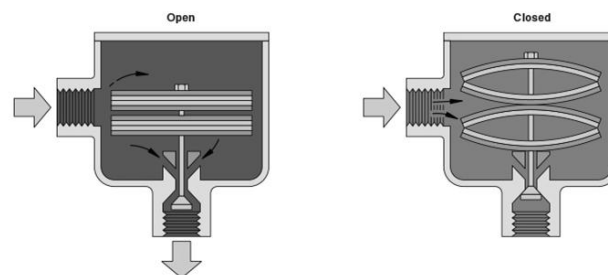
Fuente: Trampas de vapor. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermostatic-steam-traps.aspx>. Consulta: 12 de mayo de 2018.

- Trampa bimetálica (figura 6): el bimetálico es la unión de dos metales distintos, que al percibir una variación de temperatura se dilatan en forma variable.

En el inicio del funcionamiento, esta trampa se encuentra totalmente abierta dejando fluir el aire y condensado que se encuentran en su interior, debido que la temperatura es menor que la mezcla.

Cuando el vapor empieza a fluir hacia la trampa, la placa bimetálica, en uno de sus extremos permanecerá fija y el otro extremo responderá al diferencial de temperatura, dilatándose para cerrar la salida a través de la válvula. Para que la válvula se cierre la temperatura del condensado debe bajar, así el bimetálico regresará a su posición original. En la figura 6 se presenta el movimiento de cierre y apertura que realiza la válvula bajo operación.

Figura 6. **Trampa bimetálica**



Fuente: Trampas de vapor. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-traps-and-steam-trapping/thermostatic-steam-traps.aspx>. Consulta: 13 de mayo de 2018.

- **Mecánica:** son trampas de vapor que funcionan según el principio de gravedad específica. En este tipo de trampas el flotador se eleva y se hunde con el flujo de condensado, provocando así la apertura y cierre. La operación de estas trampas de vapor es precisa al flujo de condensado sin que sea comprometido debido a factores externos. Tiene una clara ventaja frente a las trampas de vapor termodinámicas, las cuales frente a factores como la lluvia, viento o aislamiento pueden afectar su funcionamiento.
- **Termodinámica:** este tipo de trampa se clasifican como operadas por energía cinética, es la trampa más utilizada en la industria del petróleo y el gas entre todos los tipos. Las trampas de vapor termodinámicas tienen un diseño extremadamente robusto y poseen una operación simple. Soportan altas temperaturas y presiones.

1.6. Generación de energía a base de vapor

El vapor es la fase gaseosa del agua, el cual es formado cuando el calor latente necesario de vaporización es suministrado al agua en su punto de ebullición. El vapor es producido bajo altas presiones en plantas de energía, quemando combustible en una caldera, en reactores nucleares o hasta con la luz solar en plantas de generación de energía.⁴

El vapor es una parte fundamental en la generación de energía eléctrica debido a que puede ser utilizado para hacer rotar turbinas, las cuales son utilizadas como generadores. Cuando la elevada presión pasa a través de la turbina, se expande, y emerge un incremento de la velocidad a baja presión. La energía cinética del vapor es transferida a la turbina en forma de impacto.

⁴ Cleaver-Brooks *Engineered Boiler Systems* p 2.

A través del vapor se puede transferir calor a temperatura constante y se utiliza ampliamente en hospitales, industrias y hoteles. Aplicando medidas de eficiencia energética en la generación, operación, mantenimiento y distribución se puede lograr un incremento en la eficiencia del sistema de vapor.

1.6.1. Características del vapor

Generalmente el término vapor se emplea para referirse a una sustancia gaseosa que se encuentra por debajo de su punto crítico, y en gas cuando se encuentra por encima de la temperatura crítica. Sin embargo, el comportamiento, por debajo o arriba del punto crítico es similar. La ebullición se produce a partir de calentar un líquido hasta que su presión se haga igual a la presión total que existe sobre el líquido.

El punto de ebullición del agua es 100°C debido a que en este punto la presión del vapor del agua es de 1 atmósfera, al vapor generado en estas condiciones se le conoce como vapor saturado. El vapor con una temperatura superior al punto de ebullición se le considera vapor sobrecalentado y si se disminuye su temperatura a presión constante, se condensa.

La eficiencia del sistema de vapor depende de la pureza, la saturación y la disponibilidad del vapor en el desarrollo de los procesos, por lo que se requiere vapor con características que cumplan con los requerimientos de cada equipo. La humedad del vapor es un indicador para conocer la pureza, esta se mide como la presencia de agua en una cantidad de vapor seco o sobrecalentado. El vapor puede contener contaminantes como sarro, óxido, magnesio, calcio que se encuentran en el agua y que afectan el equipo e instrumental.

En la actualidad se considera adecuada la presencia de un 3 % de agua líquida en el vapor. Si la presión del vapor es demasiado alta respecto de la temperatura, se generará vapor sobresaturado, el cual es un vapor “mojado”. Para obtener vapor sobrecalentado se disminuye considerablemente la presión manteniendo la temperatura, del vapor saturado resultante del equilibrio entre la presión y la temperatura, el cual debe contener un porcentaje adecuado de humedad.

El vapor sobrecalentado se genera a partir del aumento de temperatura al vapor saturado al 100 % y debido a que no existe líquido para vaporizar, la presión se mantiene casi constante. Esta temperatura interfiere con la hidratación de los microorganismos, ocasionando su destrucción y así la esterilización de los cuerpos.

1.6.2. Clasificación del vapor

La utilización del vapor como fluido termodinámico para producir energía se debe a una gran variedad de propiedades que posee, en particular:

- Bajo costo de producción y es abundante.
- Capacidad de transportar gran cantidad de energía por unidad de masa, según el cambio de fase. El calor latente de cambio de fase es del orden de 2 5000 [kJ/kg].

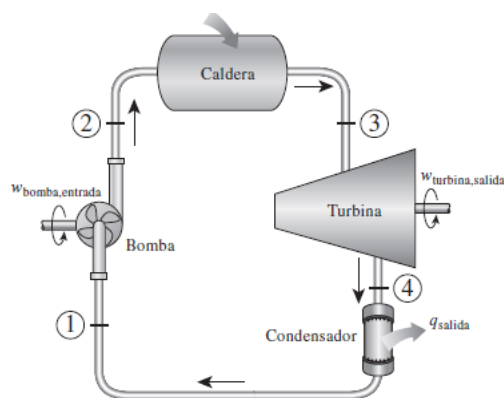
Los ciclos de vapor se pueden clasificar en abiertos y cerrados. El ciclo abierto fue el primero en ser utilizado ampliamente y corresponde a las máquinas de vapor de ciclo abierto. Este ciclo representa gran pérdida de calor

respecto del potencial, por lo que los ciclos abiertos fueron rápidamente reemplazados por ciclos con condensador, debido a la mejora de su rendimiento.

El ciclo Rankine (figura 7) es un ciclo cerrado que introduce el uso del condensador, por su eficiencia es ampliamente utilizado en centrales termoeléctricas.

Este ciclo evapora y condensa agua de forma alternativa. Hace uso de la quema de combustibles para generar calor en una caldera, produciendo vapor de agua a alta presión, luego es llevado a una turbina donde se expande para generar trabajo mecánico en su eje (el cual se encuentra unido a un generador eléctrico). En este punto se hace uso del condensador, recibiendo el flujo de vapor a baja presión, donde el vapor se condensa y cambia al estado líquido. Finalmente, se aumenta la presión del fluido líquido con una bomba para que sea retornado a la caldera.

Figura 7. **Ciclo de Rankine ideal simple**



Fuente: CENGEL, Y. B. *Termodinámica*. p. 561.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. División de Mantenimiento

Es el área a cargo de definir el conjunto de normas y técnicas para la conservación de la maquinaria, equipos e instalaciones del hospital. El mantenimiento busca aumentar la confiabilidad de los servicios ofreciendo el mejor rendimiento a través de la mayor cantidad de tiempo posible.

2.1.1. Actividades

La División de Mantenimiento del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social es un área de apoyo organizacional la cual se encarga de brindar servicios de soporte en ingeniería, mantenimiento, seguridad y salud ocupacional, y los servicios esenciales para la conservación de la infraestructura, instalaciones y mejora continua de las tecnologías para la salud.

2.1.2. Áreas de trabajo

Las áreas de trabajo a cargo de la División de Mantenimiento han surgido a partir de la necesidad de tecnificar los procesos médico-hospitalarios y ellas son:

- Estudio de las tecnologías aplicables a las necesidades del hospital para su adquisición.
- Supervisión y asistencia técnica en los hospitales para el mejoramiento continuo de los servicios.

- Implementación de nuevas técnicas para gestionar el mantenimiento preventivo y conservación de la infraestructura, equipo y vehículos.
- Proporcionar los niveles necesarios de asepsia e higiene en cada una de las áreas del hospital.
- Garantizar la operatividad de los equipos, sistemas e instalaciones del hospital.
- Garantizar el bienestar físico y mental de todos los trabajadores a partir de la reducción de riesgos asociados a operaciones ingenieriles, así como la seguridad y conservación de las instalaciones del hospital.

2.2. Procesos que requieren de vapor dentro de un hospital

En los hospitales del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, se distribuye vapor para su uso en el área de central de equipos, en donde se cuenta con autoclaves y se lleva a cabo el proceso de esterilización de instrumentos quirúrgicos y recipientes. En la lavandería se efectúa la limpieza de sábanas y en el área de cocina se utilizan marmitas para la preparación de alimentos.

2.2.1. Esterilización de instrumentos quirúrgicos y recipientes

En el área de central de equipos se esterilizan los equipos necesarios para urgencias, pediatría, cirugía, laboratorio, medicina y otros. La importancia de esta área se da en la destrucción de toda forma de vida microbiana para el suministro de material estéril para el desarrollo de cada uno de los servicios del hospital, esto depende de la capacidad de producción y del ritmo de trabajo.

Entre las atribuciones del área de central de equipos se encuentra: recibir, preparar, clasificar, esterilizar y distribuir el instrumental médico a cada uno de los servicios del hospital. A partir del uso de autoclaves, que usan vapor seco a una presión determinada para alcanzar la esterilización del equipo quirúrgico.

2.2.2. Lavado, secado y planchado de utensilios

Cada hospital del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, debe contar con una lavandería institucional, dedicada a satisfacer las necesidades de su centro. Este tipo de lavandería se dedica únicamente a la limpieza de sabanas del hospital al cual pertenece, por lo que no posee una estructura propia de dirección, sino que aprovecha los recursos comunes del hospital.

Entre los costos directos para su funcionamiento se encuentra el personal que trabaja directamente en la lavandería y consumos de agua, detergentes, energía eléctrica y vapor. Adicionalmente, se deben agregar los costos por la cantidad de kg de ropa procesada, el cual puede representar hasta un 35 % del precio total.

La lavandería del hospital debe cumplir con la función de ayudar a conservar la higiene, controlar la calidad de la ropa laboral, y conocer los factores que puedan afectar la duración de las prendas. La ropa sucia es una fuente de contaminación y para desinfectarla se debe tener pleno control sobre el proceso de lavado térmico.

2.2.3. Cocción de alimentos

En el área de cocina de los diferentes hospitales del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social se preparan los alimentos para pacientes y trabajadores,

manteniendo una sistemática de trabajo constante y rutinario. Esta área se considera compleja debido a los factores que en ella interactúan, como nutrición, compras, cocina y mantenimiento

2.3. Descripción del equipo disponible

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, cuenta con una caldera y equipos industriales para integrarse al sistema de generación y distribución de vapor en las áreas de autoclaves, lavandería y cocina.

2.3.1. Autoclaves

Para el área de central de equipos se cuenta con autoclaves que funcionan con vapor de un sistema de distribución, el ciclo de esterilización comprende una temperatura de entre 134 a 135°C durante 10 a 15 minutos, al someter el instrumental a estas condiciones se destruirá cualquier tipo de vida microbiana, incluidas las esporas.

Para mantener la esterilización, durante el almacenaje del equipo, se recomiendan pisos, paredes y techos fáciles de lavar. Además, deben evitarse corrientes de aire que contaminen el ambiente, se recomienda ventilación mecánica, utilizar iluminación artificial, conservar la humedad promedio entre 30 y 60 % y una temperatura bajo los 26°C.

2.3.2. Lavadoras industriales

Actualmente, la División de Mantenimiento cuenta con cuatro lavadoras de tipo industrial funcionales, que pueden ser utilizadas para acoplarse a un sistema que les provea de energía para su funcionamiento.

Tabla I. **Descripción de lavadora industrial Pellerin Milnor**

Equipo:	Lavadora industrial
Marca:	Pellerin Milnor
Capacidad:	140 lb
Presión de operación:	80 psi
Consumo de vapor:	210 lb/h
Cantidad de máquinas instaladas	4

Fuente: elaboración propia, tomado de placa base.

Figura 8. **Lavadora industrial para el área de lavandería**



Fuente: Modelos Pellerin Milnor. <https://www.milnor.com/operator-guides/mqcvjo01u1/>.

Consulta: 25 de mayo de 2018.

2.3.3. Secadoras industriales

Para el secado, la institución cuenta con secadoras de tipo industrial marca Imesa, las cuales tienen la capacidad de tratar las sabanas, ropa y todas las prendas que se utilizan dentro del hospital.

Tabla II. **Descripción secadora industrial Imesa**

Equipo:	Secadora industrial
Marca:	Imesa
Modelo:	ES-34
Capacidad:	70 lb
Presión de operación:	120 psi
Consumo de vapor:	260 lb/h
Cantidad de máquinas instaladas	3

Fuente: elaboración propia, tomado de placa base. Realizado: 25 de mayo de 2018.

Figura 9. **Secadora industrial para el área de lavandería**



Fuente: Imesa. <http://www.cimelco.com/assets/secadoras-industriales-imesa--modelo-es.pdf>.

Consulta: 29 de mayo de 2018.

2.3.4. Planchadoras industriales

Para el planchado, se cuenta con planchadoras industriales marca Ajax, de tipo horizontal, de fácil uso y que garantizan el mínimo consumo de energía.

Tabla III. **Descripción planchadora industrial tipo prensa**

Equipo:	Planchadora industrial tipo prensa
Marca:	Ajax
Capacidad:	14 piezas por hora
Presión de operación:	80 psi
Consumo de vapor:	60 lb/h
Cantidad de máquinas instaladas	2

Fuente: elaboración propia, tomado de placa base.

Figura 10. **Planchadora tipo prensa**



Fuente: Lavadora industrial Ajax. <https://www.lorsa.com/315-ajax>. Consulta: 31 de mayo de 2018.

2.3.5. Marmitas industriales

Para el área de cocina se cuenta con cuatro marmitas funcionales. Las cuales tienen capacidad para 50 galones cada una y trabajan a una presión de 25 psi. Las marmitas son un equipo de calentamiento indirecto comúnmente utilizado en la industria alimentaria para la cocción de los mismos.

Figura 11. **Marmita industrial para la cocción de alimentos**



Fuente: Hospital General de Enfermedades, zona 9, Guatemala. Consulta: 14 de junio de 2018.

2.4. Sistema de generación de vapor

Es utilizado para la producción y distribución de vapor a presiones por encima de la atmosférica, a partir de una fuente de energía como el combustible. El vapor de agua generado es el fluido energético ideal para una amplia cantidad de aplicaciones en la industria y hospitales.

2.4.1. Insumos para funcionamiento de caldera

La caldera convierte la energía química del combustible en energía térmica, la transferencia se efectúa en el interior de la caldera para convertir el agua a vapor con una presión y temperatura determinadas.

2.4.1.1. Combustible

Son todos aquellos materiales que al combinarlos en una cantidad adecuada de oxígeno y calor pueden arder y hacer que el proceso de combustión continúe. Para el proceso de combustión se necesita de combustibles con carbono, hidrógeno y sus compuestos. Para calderas en procesos industriales es común utilizar la combustión del carbón mineral, aceites combustibles derivados del petróleo o gas natural.

- Carbón mineral: a través de los años ha representado una fuente de energía principal alrededor del mundo. Sin embargo, por su contenido de azufre, representa un problema por ser nocivo para la salud. La combustión del carbón mineral libera a la atmosfera gases peligrosos que contienen cenizas y azufre con efectos potencialmente dañinos para la vida animal y vegetal. El efecto dañino se minimiza a partir de un método de desulfuración, el cual resulta económico solo para grandes industrias y centrales térmicas.
- Aceites combustibles: son mezclas de hidrocarburos derivados del petróleo crudo y del gas. Los derivados del petróleo crudo tienen viscosidades muy diferentes y los derivados del gas son principalmente derivados de gases naturales como metano y etano.
- Los *fueloil* son viscosos y deben pulverizarse para que el aire entre en contacto con las finas gotas de aceite, la ventaja estriba en que su viscosidad no permite que alcance el estado gaseoso.
- El gasóleo, es un combustible gaseoso, utilizado principalmente en motores diésel, fácil de manejar y al ser quemado alcanza altas

temperaturas. Dentro de esta clasificación se encuentran los combustibles fósiles gaseosos como gas natural y gases licuados de petróleo.

2.4.1.2. Agua

El agua representa uno de los insumos por utilizar para la alimentación de la caldera, debe llevar un tratamiento previo para evitar problemas de corrosión e incrustaciones, evitar deterioros del equipo, asegurar la calidad del agua de alimentación y de la contenida dentro de la caldera.

Controlando los parámetros involucrados en el tratamiento del agua para la caldera se puede asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones y accidentes, obteniendo beneficios económicos. La fuente del agua utilizada para la operación del equipo, proviene de ríos, lagos y océanos, la cual no ha recibido ningún tipo de tratamiento y contiene altos niveles de calcio, magnesio y otros minerales que deben ser eliminados.

Entre los problemas frecuentes, asociados al tratamiento del agua para uso industrial, se encuentran con mayor frecuencia la corrosión, la cual es la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera provocando su disolución y la incrustación, que corresponde a la formación de capas de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio debido a la alta concentración de estos minerales en el agua de alimentación.

Según las recomendaciones de la Norma Británica BS-2486, en las siguientes tablas se pueden observar los parámetros por considerar para prevenir incrustación y corrosión en calderas de baja presión (hasta 10 bar).

Tabla IV. **Requerimientos agua de alimentación, según norma BS-2486**

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Tratamiento de agua para calderas.

<http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>.

Consulta: 21 de junio de 2018.

Tabla V. **Requerimientos de agua para caldera, según norma BS-2486**

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO ₃	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
□ Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
□ Hidrazina	0.1 – 10 ppm
□ Taninos	120 – 180 ppm
□ Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na ₃ PO ₄	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Silice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Tratamiento de agua para calderas.

<http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>.

Consulta: 21 de junio de 2018.

2.4.1.3. Chimenea

La chimenea es un sistema utilizado para la conducción de los gases de la combustión desde el hogar de la caldera hasta el exterior. Para las calderas que funcionan con combustible sólido, el aire necesario para la generación y mantenimiento de la combustión es suministrado por la chimenea y fluye de manera natural del tiro que ejerce la chimenea.

La chimenea debe ir adecuadamente aislada de manera térmica para que los gases de combustión salgan enfriándose de forma gradual y no de forma instantánea y excesiva. Además, la construcción debe ser de sección constante en todo su recorrido y los materiales para su manufactura deben resistir ataques químicos como corrosiones ácidas por lo que se recomiendan materiales refractarios, acero inoxidable u otro material adecuado.

La utilización de materiales idóneos reducirá la posibilidad de infiltraciones de aire frío que afecten el tiro y el rendimiento del sistema de vapor. Se recomienda una temperatura de salida de los humos por la parte superior de la chimenea por arriba de 100°C y en la salida de la caldera superior a 170°C.

2.5. Área de central de equipos

Es el área que contiene los equipos receptores del flujo de vapor proveniente de la caldera para la esterilización de material de consumo e instrumental médico quirúrgico de los servicios del hospital.

2.5.1. Características

El área de central de equipos se debe encontrar abierta las veinticuatro horas del día y tiene por objeto suministrar al hospital todo el material de curación como instrumentos quirúrgicos e insumos descartables para que cada servicio pueda funcionar correctamente.

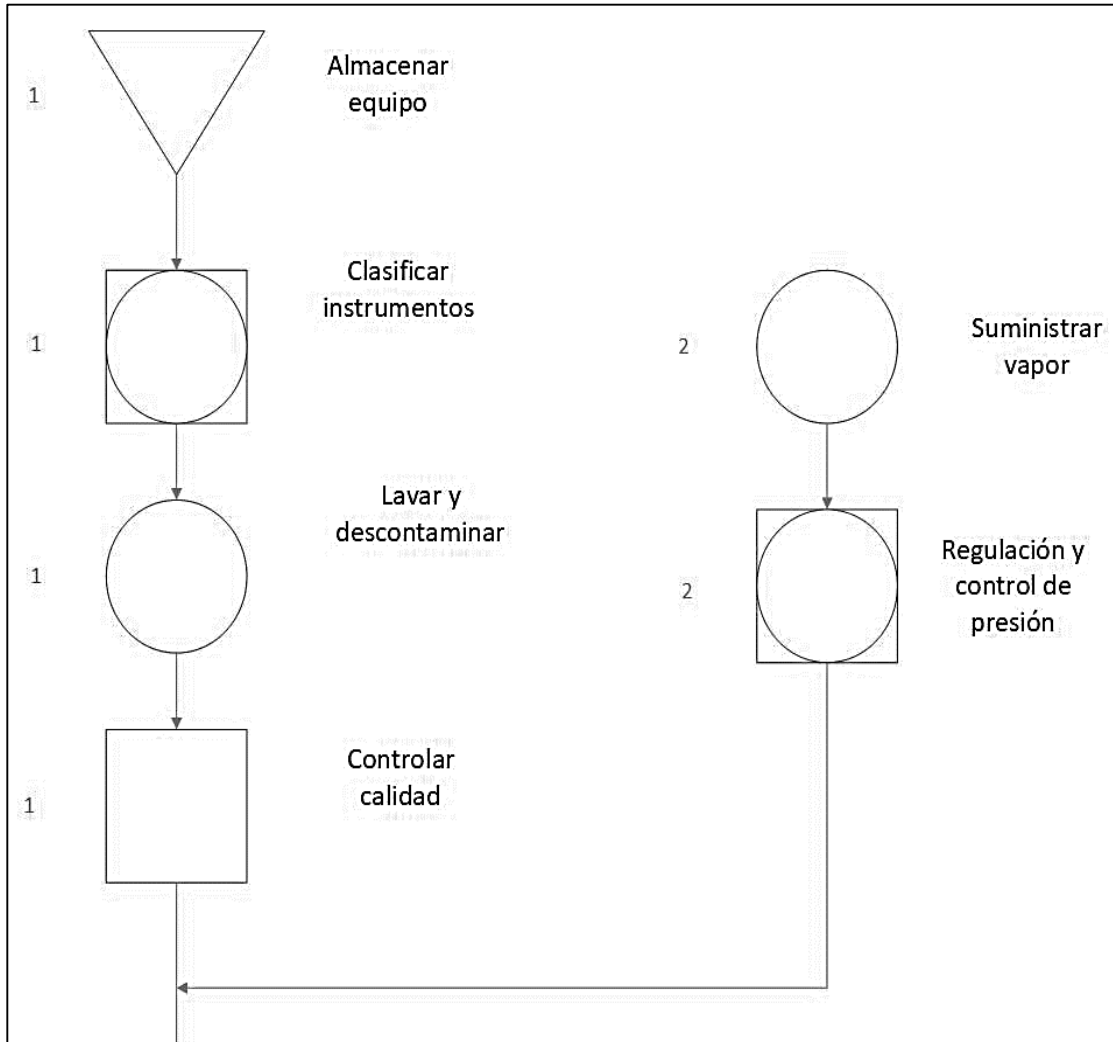
Para la asepsia de instrumentos, se debe contar con autoclaves, esterilizadores de vapor encargados de satisfacer las necesidades de las áreas médicas. Deben ubicarse en zonas de fácil acceso a todas las áreas del hospital. Según la clasificación de Spaulding los productos en esta área se clasifican según el grado de contacto con el paciente:

- Producto sanitario crítico: es todo el material que se utiliza en una intervención quirúrgica o que tiene contacto con zonas estériles del cuerpo humano. Para su procesamiento es requiere de limpieza y esterilización.
- Producto sanitario semicrítico: es el material que entra en contacto con mucosas y zonas no estériles. Requiere de desinfección y limpieza.
- Producto no crítico: es material que no entra en contacto con mucosas ni toca directamente al paciente. Se requiere de control bajo e intermedio de desinfección.

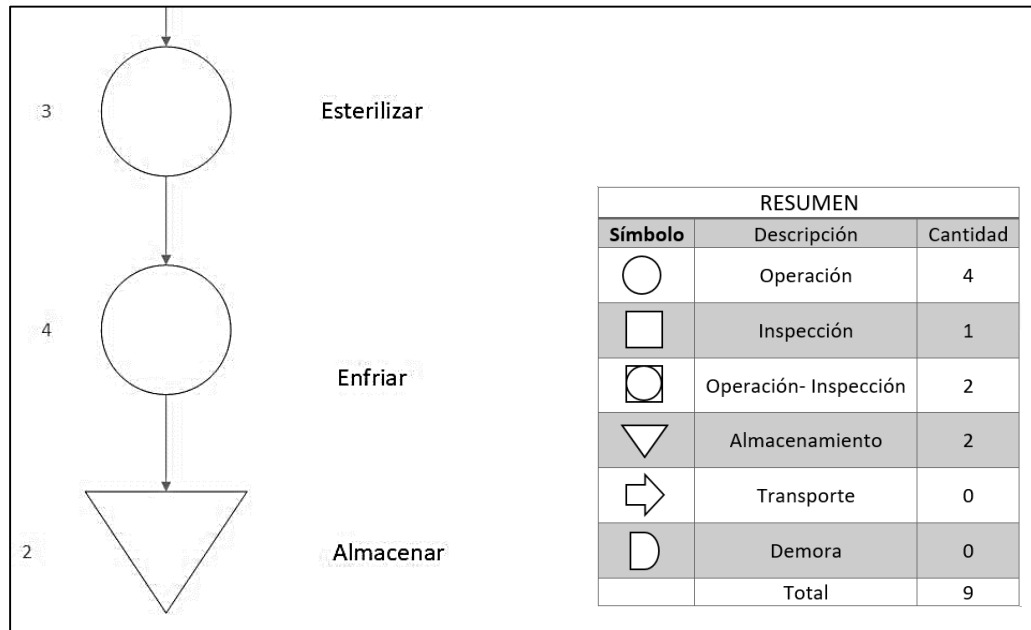
2.5.2. Descripción del proceso

La central de equipos es un servicio que se debe encargar de obtener, centralizar, preparar, esterilizar, clasificar y distribuir todos los equipos, materiales e instrumental de manera oportuna.

Figura 12. Diagrama del proceso de esterilización



Continuación de la figura 12



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio. Realizado: 23 de junio de 2018.

2.6. Área de lavandería

El área de lavandería hospitalaria procesa únicamente ropa quirúrgica de su propio centro, proporciona apoyo directo al hospital, e indirecto a la atención del paciente.

2.6.1. Características

El área de lavandería se divide en las secciones de recepción de ropa, clasificación, lavado, planchado y secado, reagrupado y distribución.

La sección de clasificación y lavado debe encontrarse totalmente, separada del resto, su comunicación con la zona de ropa limpia será la de descarga de las

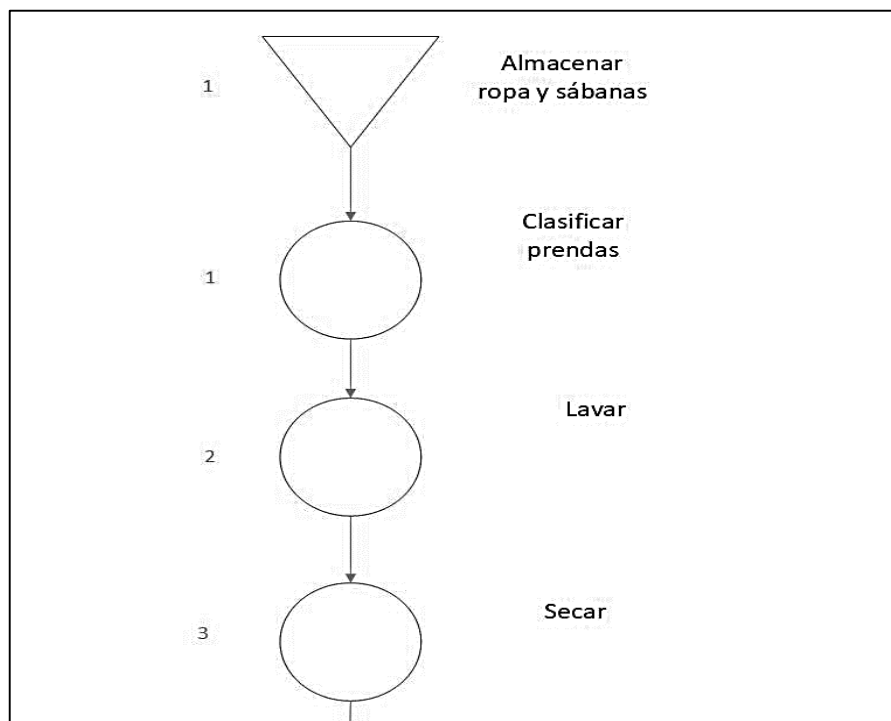
lavadoras. La ropa sucia hospitalaria, contaminada deberá someterse a procesos de lavado que logran su desinfección completa.

Por ser una lavandería de ropa hospitalaria, por razones de higiene las estaciones para ropa sucia y limpia deben encontrarse separadas y deben existir procedimientos específicos para el tratamiento de cada tipo de ropa, empaquetado y almacenaje.

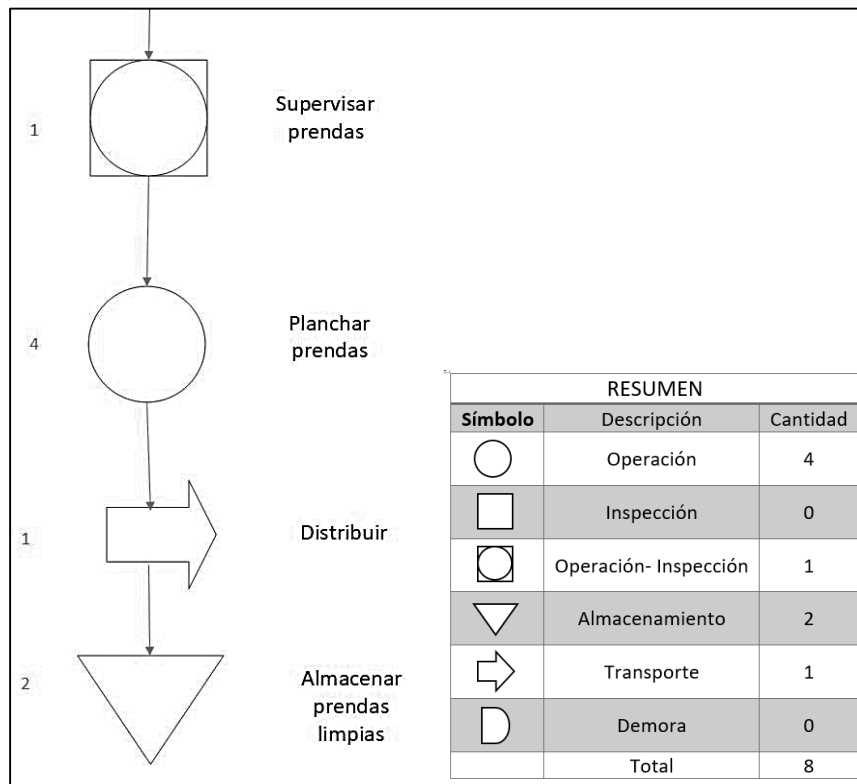
2.6.2. Descripción del proceso

Las funciones del servicio de lavandería están dirigidas a reponer la ropa usada, limpia y desinfectada para volverse a utilizar. Además, se debe controlar la calidad del proceso para maximizar la duración de las prendas.

Figura 13. Diagrama de operaciones de lavandería



Continuación de la figura 13



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio. Realizado: 23 de junio de 2018.

2.7. Área de cocina

El área de cocina se calcula de acuerdo con las necesidades del hospital, plan alimentario, dietas, horarios, ingestas, personal e instalaciones.

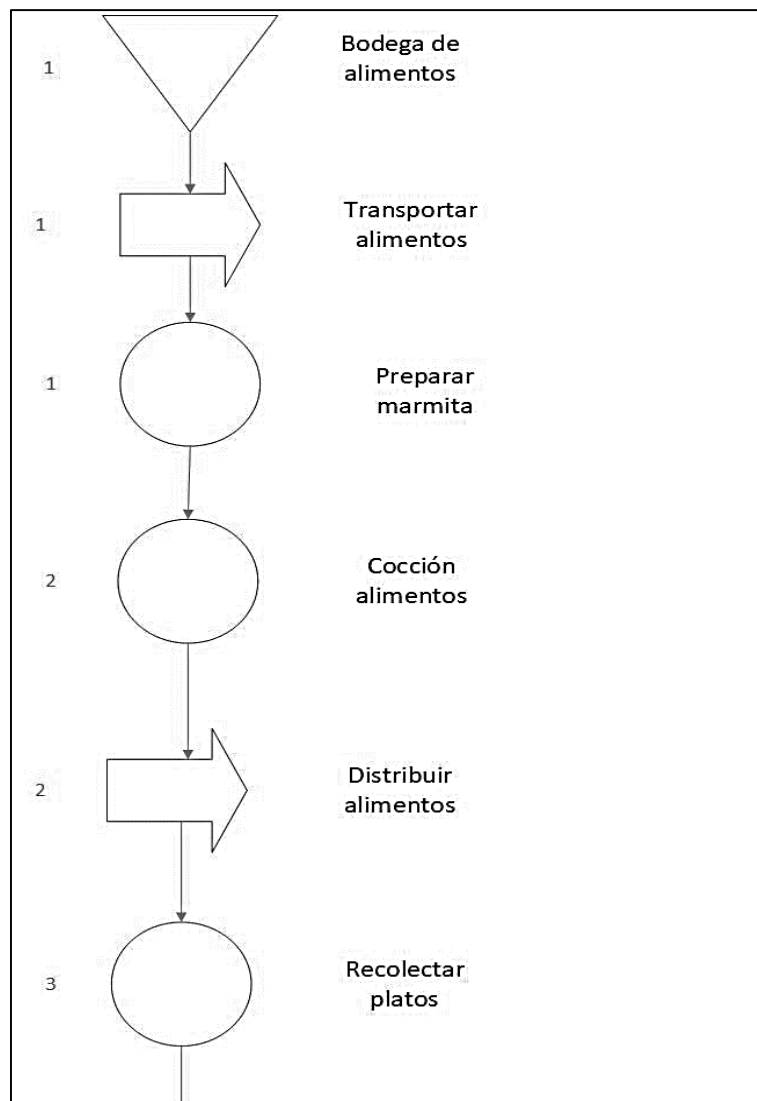
2.7.1. Características

El trabajo para el área de cocina está configurado para la producción de alimentos que tienen como objetivo principal la nutrición de los pacientes. La calidad de la alimentación dependerá de la asistencia del personal y el equipamiento.

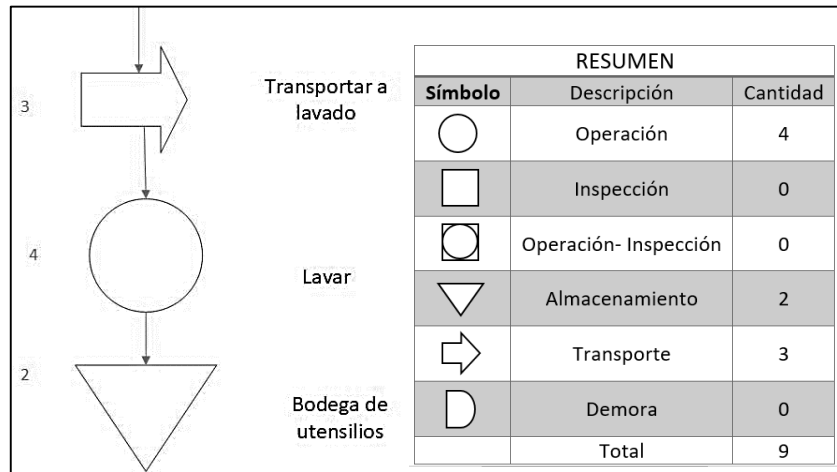
2.7.2. Descripción del proceso

La cocina hospitalaria forma parte del sistema de nutrición del centro, por lo que debe existir una sincronización de todas las etapas para proporcionar a cada usuario la dieta asignada.

Figura 14. Diagrama de operaciones de cocina



Continuación de la figura 14



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio. Realizado: 23 de junio de 2018.

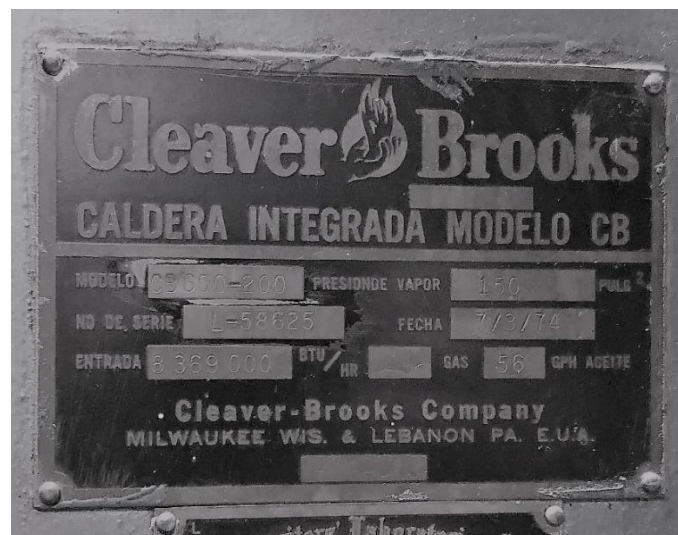
3. PROPUESTA PARA REALIZAR EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN DE VAPOR

3.1. Propuesta de caldera

La caldera, en la red de distribución de vapor del hospital, es un dispositivo que principalmente se usará para la esterilización de instrumentos y utensilios, y en la transformación de alimentos.

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social cuenta con una caldera Cleaver Brooks de 125 BHP modelo CB600-200, la cual soporta una presión máxima de 150 psi.

Figura 15. Placa de especificaciones de caldera CB600-200



Fuente: Cuarto de máquinas del IGSS. Consulta: 29 de julio de 2018.

Según las características para calderas pirotubulares presentada por Cleaver Brooks y para la caldera de 125 HP (ver figura No. 15), se obtiene que la capacidad de producción de vapor es de 4,313 libras vapor por hora. La capacidad de producción de la caldera proporcionada por la tabla es teórica y solamente se produce en condiciones ideales.

Tabla VI. **Capacidad de producción de vapor para calderas pirotubulares CB**

Características de calderas pirotubulares											
BHP	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800
Calificaciones nivel del mar a 700 pies											
Cap. Vapor nominal (lb/h)	4 313	5 175	6 900	8 625	10 350	12 075	13 800	17 250	20 700	24 150	27 600
Btu salida (1000 Btu/h)	4 184	5 021	6 695	8 369	10 043	11 716	13 390	16 738	20 085	23 4433	26 780
Consumo aproximado de combustible a la capacidad nominal											
Aceite ligero (gph)	36,4	43,7	58,3	72,9	87,5	102,1	116,6	145,8	175,0	204,1	233,3
Gas natural (cfh)	51,03	6 123	8 165	10 206	12 247	14 288	16 329	20 412	24 494	28 576	32 659
Gas /term/h)	51,0	61,2	81,66	102,1	122,5	142,9	163,3	204,1	244,9	285,8	326,6

Fuente: Dimensiones y rangos. <http://cleaverbrooks.com/products-and-solutions/boilers/firetube/cbl/750-158%20CBL%202003%20Spanish%20-%20Espanol.pdf>.

Consulta: 30 de junio de 2018.

3.1.1. Condiciones de operación

Para el sistema de vapor que se utilizará en el IGSS, existen cinco condiciones de operación que se mantendrán bajo control a partir del seguimiento de las siguientes actividades:

Arranque:

- Revisar el nivel de agua en el vidrio de columna de la caldera
- Revisar cantidad de gas disponible
- Revisar el nivel de búnker en el tanque
- Revisar el nivel de agua en el tanque principal
- Encender pre calentadores
- Encender del mando principal del equipo

Durante:

- Purgar la caldera
- Revisar presión de bomba de alimentación de agua
- Revisar nivel de químico en el depósito
- Revisar temperatura de gases de chimenea

Parada final:

- Cerrar válvulas de alimentación de gas
- Cerrar válvulas de alimentación de aire

Limpieza:

- Mantenimiento autónomo a partir de orden y limpieza de áreas de trabajo y calderas.
- Espacios libres de hollín y residuos de búnker.

Seguridad:

- Utilizar tapones contra el ruido
- Utilizar equipo de seguridad industrial al ingresar al cuarto de máquinas

3.2. Generación de vapor

La cantidad de humo en los gases de chimenea puede indicar los problemas existentes en el sistema como inadecuada alimentación de aire, precalentamiento inadecuado o inadecuada relación de combustible y aire.

3.2.1. Exceso de suministro de aire

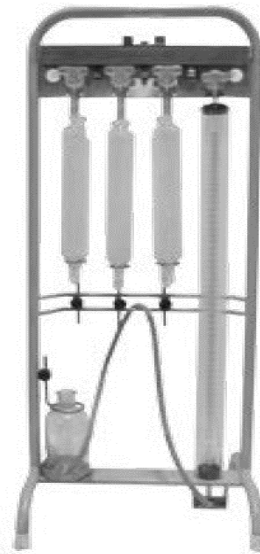
El exceso de aire se lleva una cantidad de calor del hogar y lo dirige hacia el exterior a través de la chimenea. La combustión siempre debe realizarse con aire en exceso para asegurar que el combustible se queme por completo y mantener un nivel alto de eficiencia de la extracción de calor. De esta manera también se reducirán los niveles de hollín y la cantidad de humo negro generado.

El humo blanco será representativo de insuficiente aire y el de color negro, es indicio de aire insuficiente. Para conocer el rendimiento de la combustión de forma más precisa, se utiliza un analizador de gases, como el aparato de Orsat.

El analizador de gases de combustión de Orsat (ver figura 16) es un instrumento de control de gases de combustión que ofrece una amplia posibilidad de análisis basado en la medición de volúmenes de humos.

Este aparato puede demostrar si existen problemas de control o de emisiones, haciendo circular una muestra de gases a través de líquidos absorbentes que removerán componentes específicos.

Figura 16. **Aparato de Orsat**



Fuente: <http://www.prolabdemichoacan.com/producto/aparato-de-orsat-2/>.

Consulta: 23 de agosto de 2018.

Se trata del análisis de una mezcla de gases a una presión y temperatura conocidas, pasan bajo la acción de reactivos químicos selectivos absorbentes en botellas, que permiten la conocer el porcentaje de gases presentes en la mezcla, a partir de estos datos se ajustará la relación aire/combustible.

Como la operación de la caldera no se da bajo condiciones ideales, la cantidad de aire suministrada debe ser mayor a la cantidad teórica. Para el suministro del exceso de aire se utiliza, aire comprimido el cual aporta oxígeno, nitrógeno y otros gases como el dióxido de carbono.

No contar con la cantidad adecuada de aire suministrado ocasionará la quema incompleta del combustible, contaminación del ambiente y desperdicio de energía del combustible.

En la siguiente tabla, se especifican los niveles recomendados de aire.

Tabla VII. **Niveles recomendados de exceso de aire**

Tipo de combustible	Método de quemado	% de exceso de aire óptimo	% O ₂ (por volumen equivalente)
Gas natural	-	5-10	1-2
Propano	-	5-10	1-2
Horno de carbón para gas	-	5-10	1-2
Aceite No.2	Vapor atomizante	10-15	2-3
Aceite No.6	Vapor atomizante	10-15	2-3.5
Carbón	Pulverizador		3-3.5
Carbón	Pulverizador	20-30	3.5-5

Fuente: Optimización de la combustión.

<http://www.tiemporeal.es/archivos/OptimizacionCombustion.pdf>.

Consulta: 30 de agosto de 2018.

En base a la tabla, un porcentaje elevado de aire en exceso produce una eficiencia baja de la caldera, debido a que la mayoría de combustible se utilizará para el calentamiento del aire en exceso, que no se requiere y que se escapará a través de la chimenea.

3.2.2. Controles de temperatura en gases de combustión

Además de controlar la cantidad de oxígeno, se debe controlar la temperatura del aire suministrado, generalmente se logra utilizando precalentadores de aire. Para conocer la temperatura de los gases de salida de

la chimenea y la del aire que debe ser suministrado, se utilizan las características promedio del frío extremo, a través de la siguiente ecuación:

$$Tg = 2Tce - Ta$$

Donde:

Tg=temperatura de salida de los gases de chimenea.°F

Tce=temperatura promedio recomendada de gases de salida de chimenea.

Ta=temperatura ambiente.

Con el anexo 1, conociendo que el porcentaje máximo de azufre en el búnker es de 5 %, se determina que la Tce es de 235°F.

Sustituyendo:

$$Tg = 2(235°) - (71,6°F)$$

$$Tg = 398,4°F$$

Se determina que la temperatura final de gases de combustión será de 398,4°F, en donde se aprovechará de manera eficiente la energía del proceso de combustión.

3.3. Pérdida de calor en la red

Durante el proceso de generación y distribución, el vapor cede energía al ambiente, transformando determinada parte del vapor en agua; se genera un descenso en la presión y temperatura que afectan la calidad de vapor.

Para reducir la transferencia de calor indeseable del sistema a su alrededor, se utilizan aislamientos para reducir la conducción térmica en el material de la tubería y reducir las corrientes de convección y radiación térmica.

3.3.1. Aislamiento térmico en la red

El uso de materiales de baja conductividad térmica se da para minimizar las pérdidas de energía por transferencia de calor hacia el ambiente y para proteger al personal e infraestructura.

3.3.1.1. Aislante térmico en tuberías de distribución

Para impedir la transferencia del calor al ambiente y lograr el mayor nivel de eficiencia energética, se utilizan materiales resistentes al paso del calor sobre las tuberías de la red de distribución. Previo a la instalación, se debe verificar el estado de las tuberías para comprobar que no estén perforadas, dobladas, oxidadas o con cualquier tipo de daño.

La instalación de válvulas, derivaciones, cambios de sección o uniones debe realizarse sin forzar, utilizando los accesorios adecuados. Las uniones de accesorios a la tubería se harán a través de rosca, soldadura, encolado, compresión mecánica, junta elástica o bridas.

3.3.1.2. Aislante térmico en accesorios de tuberías

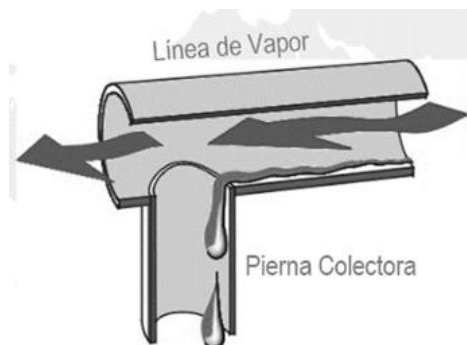
La pérdida de calor por accesorios se da en relación a su diámetro, se deberán adaptar colchones móviles para reducir el intercambio de energía calorífica con el ambiente. Estos aislantes se pueden fabricar con fibra de vidrio rellenos con algodón o lana.

El espesor de los aislantes de fibra de vidrio se recomienda igual al de una tubería de diámetro similar, de esa manera se garantiza la menor pérdida de calor del sistema, lo que significa un ahorro en el consumo de energéticos y, por consiguiente, se reduce la emisión de contaminantes.

3.4. Piernas colectoras

Para drenar el condensado a través de una trampa de vapor, cada sistema de distribución debe contar con piernas colectoras, a determinadas distancias en las tuberías, para separar el condensado del vapor y contenerlo hasta que la presión diferencial sea la suficiente para evacuarlo.

Figura 17. **Arreglo de tubería y pierna colectora**



Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

Consulta: 17 de septiembre de 2018.

3.4.1. Características generales

La dimensión de cada pierna colectora depende del diámetro de la tubería por drenar y de la cantidad de condensado durante el precalentado.

La longitud necesaria para cada pierna colectora será de 1,5 veces el diámetro de la tubería y siempre mayor a 250 mm, bajo precalentamiento supervisado. Utilizando precalentamiento automático, la longitud mínima debe ser de 710 mm.

Tabla VIII. **Dimensión de piernas colectoras**

Tamaño de tubería (mm)	Diámetro de pierna colectora (mm)	Longitud mínima de pierna colectora (mm)	
		Precalentamiento supervisado	Precalentamiento automático
15	15	250	710
20	20	250	710
25	25	250	710
50	50	250	710
80	80	250	710
100	100	250	710
150	100	250	710
200	100	300	710
250	150	380	710
300	150	460	710

Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

Consulta: 18 de septiembre de 2018.

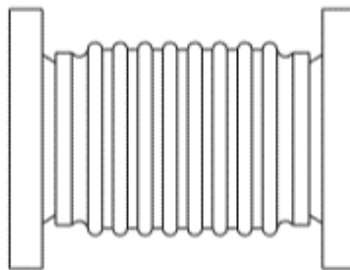
3.5. **Expansión térmica de tubería**

Bajo el efecto de un aumento de temperatura, debido al transporte de fluidos a temperaturas elevadas, las tuberías se dilatarán o expandirán, creando esfuerzos de tensión y compresión. Para el diseño de la red de distribución se debe considerar la expansión térmica, disipando y absorbiendo el movimiento de las tuberías a través de juntas de expansión.

3.5.1. Junta tipo fuelle

Este es un dispositivo fuerte y flexible capaz de absorber el movimiento axial y parte del desplazamiento lateral y angular que le ocasiona la presión de un fluido. El fuelle es el elemento fundamental en este tipo de junta, provee la flexibilidad adecuada a la tubería manteniendo condiciones de operación óptimas, estas juntas son de diseño compacto y fácil instalación.

Figura 18. Fuelle tipo fuelle



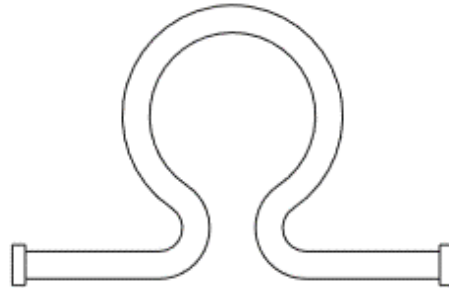
Fuente: Distribución de vapor Spirax-Sarco.

https://jrguezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/distrib_vapor.pdf. Consulta: 20 noviembre de 2018.

3.5.2. Junta tipo omega

Idealmente, debe ser montada horizontalmente para que la curva y la tubería estén al mismo nivel. Si se monta verticalmente, debe contar con un punto de purga antes de la junta.

Figura 19. **Junta tipo omega**



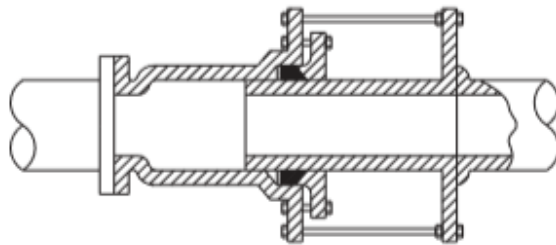
Fuente: Distribución de vapor Spirax-Sarco.

https://jrguezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/distrib_vapor.pdf. Consulta: 20 de noviembre de 2018.

3.5.3. **Junta tipo telescópica**

Este dispositivo es frecuentemente usado por el reducido espacio que ocupa, consta de dos tubos, asegurados a los extremos de la tubería. Uno dentro del otro, deslizándose, para evitar las fugas a través de empaques o prensas.

Figura 20. **Junta telescópica**



Fuente: Distribución de vapor Spirax-Sarco.

https://jrguezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/distrib_vapor.pdf.

Consulta: 20 de noviembre de 2018.

3.6. Trampas de vapor

Son dispositivos automáticos que permiten que el condensado, aire y otros gases no condensables se descarguen del sistema mientras se previenen pérdidas de vapor y daños por corrosión en la red de distribución.

3.6.1. Características de una trampa de vapor

Una trampa de vapor debe eliminar el condensado, aire y dióxido de carbono cuando se acumula y así mantener el mayor nivel posible de eficiencia del sistema, la trampa de vapor debe:

- Descargar el condensado: la trampa de vapor debe aprovechar el valor energético del condensado cuando este pasa a través de ella y eliminarlo para evitar cualquier tipo de golpe de ariete.
- Eliminar el aire y otros gases no condensables: evita que disminuya el coeficiente de transferencia de calor y que se produzcan daños por corrosión en la red de distribución.
- Evitar pérdidas de vapor: permite el paso de vapor hasta que ha cedido la mayor parte de su energía, minimizando las pérdidas de vapor mientras se libera el condensado del sistema.

3.6.2. Selección de trampas de vapor

Para maximizar la eficiencia del equipo, las trampas de vapor deben funcionar con los rangos de presión y capacidad especificados para cada producto, además se debe considerar:

- Golpe de ariete: se recomienda trabajar con trampas de vapor termodinámicas o de balde invertido, debido a su construcción robusta y a que difícilmente pueden ser dañadas por la existencia de golpes de ariete, los cuales son inevitables en la red de distribución.
- Vibraciones: en un sistema con vibraciones, la trampa recomendada es la termodinámica, debido a que posee una sola pieza móvil.
- Sobrecalentamiento: para sistemas que funcionan a altas temperaturas y presiones, se recomiendan las trampas termodinámicas.
- Bloqueo por aire: son necesarios los sistemas de venteo para eliminar el aire antes de que inicien la operación las trampas de flotador y balde invertido, para evitar el bloqueo por aire. En su lugar, se recomienda utilizar trampas termodinámicas y termostáticas debido a que pueden eliminar el aire antes de iniciar su funcionamiento.
- Bloqueo por vapor: producido por el condensado que se acumula entre los equipos por drenar y la trampa de vapor, debido a una gran distancia entre ambos. Las trampas de vapor deben instalarse entre 1 a 1,5 metros en las termostáticas y lo más cerca posible para las mecánicas.

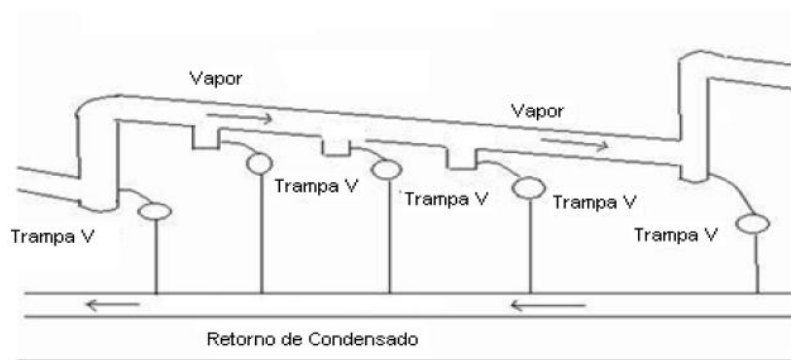
3.6.3. Ubicación de trampas de vapor

La distribución de trampas de vapor a lo largo del sistema mantiene la calidad del vapor en los niveles deseables, además de proveer un óptimo desempeño para cada trampa. Los sistemas de vapor deben contar con trampas de vapor, ubicadas estratégicamente para la remoción de condensado, según el proceso o la aplicación.

Para marmitas, autoclaves, secadores las trampas deben drenar el condensado que se forma al utilizarse el vapor, y cada equipo debe contar con su propia trampa.

Para la protección de líneas de distribución se debe drenar el vapor que se forma por el enfriamiento ambiental, con vapor sobrecalentado las trampas se deben ubicar cada 40 o 50 m y entre 30 o 40 m para vapor saturado. Se debe instalar una trampa antes de cada subida y se recomienda, también, antes de cada curva.

Figura 21. **Ubicación de trampas de vapor**



Fuente: SEVERNS, William; DEGLER, Howard; MILES, John. *Energía mediante el vapor de agua, el aire o gas*. p. 114.

3.6.4. **Factor de seguridad**

Es un coeficiente que respalda la confiabilidad de la trampa de vapor durante el proceso de descarga de condensado, el cual puede ser de flujo variable y ocasionar caídas de presión diferencial, además, contribuye a la eficiencia del sistema.

El factor de seguridad es afectado directamente por la carga de condensado pico o máxima de un sistema, la cual será mayor que la carga promedio. En el sistema de distribución de vapor, cuando exista bloqueo de una trampa, la siguiente se encargará de drenar la carga de condensado acumulada.

Los factores de seguridad varían desde un mínimo recomendado de 1,5 hasta 5,0 o más, algunos fabricantes recomiendan factores de seguridad altos para reducir problemas de bloqueo, utilizando orificios de descargas más grandes. El adecuado es el que proporciona el mejor rendimiento, de acuerdo con la criticidad de su aplicación y el desgaste al que se expone.

Un dispositivo sobredimensionado representará mayor costo de adquisición y de instalación. Cuando se trabaja con una trampa de vapor sobredimensionada, el sistema estará expuesto a golpes de ariete y nivel alto de contrapresión en el sistema de retorno, ocasionados por las grandes cantidades de vapor que se pueden perder cuando falle la trampa.

Tabla IX. **Factor de seguridad para trampas**

Tipo de trampa	Factor de seguridad mínimo recomendado
Flotador	1,5
Cubeta	2
Disco	2
Termostática	2
Bimetálica	3-5

Fuente: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-trap-selection-part-3.html>.

Consulta: 25 de noviembre de 2018.

3.6.5. Máxima presión permitida

Cada dispositivo de drenaje de condensado debe ser capaz de soportar la máxima presión permitida en el sistema. Debe poder resistirla, aunque probablemente no sea necesario que opere bajo dicha presión. De esta manera si la máxima presión de entrada es de 30 bar y la presión de retorno es de 10 bar, se obtiene una presión diferencial de 20 bar, pero la trampa debe ser capaz de trabajar bajo la presión de diseño de 30 bar.

3.7. Soportes de la red de distribución de vapor

Antes de realizar los cálculos y detalles para los soportes, se debe recopilar y documentar la siguiente información para su diseño:

- Características de accesorios del sistema (peso, dimensiones).
- Características fisicoquímicas del aislante térmico.
- Descripción completa de tuberías (tamaño de tubería, calibre de tubería, temperatura y presiones de operación y diseño).
- Señalamiento apropiado de tuberías y estructuras.
- Deflexiones de todas las juntas de succión de equipos críticos.

3.7.1. Características generales

Los soportes se clasifican de acuerdo con el movimiento al cual están sometidos, el cual es afectado directamente por la expansión térmica. Los soportes para la red de distribución se dividen en:

- Soportes flexibles: se utilizan cuando la tubería se desplaza verticalmente. Este tipo de soportes se subdividen en: de carga constante y de carga variable.
 - Soportes de carga constante
 - Proveen de fuerza constante de apoyo, utilizando un mecanismo resorte-codo de palanca.
 - Se utiliza para prevenir transferencia de cargas de peso a equipos conectados y a soportes contiguos, generalmente, en tuberías críticas.
 - Soportes de carga variable
 - La expansión de la tubería causará tracción o compresión en el mecanismo resorte-palanca que afectará la fuerza de apoyo del soporte.
 - Siendo constante el peso de la tubería, en cualquier condición, la variación en la carga ocasionará la transferencia de peso de la tubería a equipos y soportes contiguos.
- Soportes rígidos: se localizan en puntos de la red de distribución en donde no ocurren movimientos verticales, también se utilizan para limitar el movimiento vertical de la tubería.
- Soportes colgantes: su instalación es por arriba y se utilizan para contener el peso de la tubería lineal. Los soportes colgantes pueden ser:
 - Colgantes rígidos
 - Amortiguadores de resorte

- Colgantes de carga variable
- Colgantes de carga constante

3.7.2. Ubicación de soportes

Para la ubicación de soportes en la red de distribución de vapor en el sistema se considera:

- Los soportes deben instalarse lo más próximo a accesorios de tuberías, considerados como concentración de cargas.
- La instalación de soportes no debe interferir con el mantenimiento y reconfiguración de la red.
- Se deben considerar la información reunida en la documentación del sistema.
- Se requiere de una prueba hidrostática para conocer el comportamiento de los soportes bajo el peso del agua y considerar la adición de soportes.
- Para la modificación de la ubicación de soportes se requerirá de un nuevo análisis, debido a la variación de esfuerzos y reacciones en el sistema.

3.7.3. Espaciamientos de soportes

El espaciamiento y la cantidad de soportes son proporcionales a la longitud, diámetro y configuración de la tubería, y a la distribución del peso en las diferentes alturas. En secciones largas de tubería deben colocarse para evitar deformaciones y oscilaciones producidas por el viento y fuerzas de compresión.

El espaciamiento entre soportes se calculará de acuerdo con la tubería menos resistente. Este tipo de tuberías se colocarán junto a tuberías de mayor tamaño que puedan proveer de un soporte intermedio. Un conjunto de líneas débiles también puede configurarse, grupalmente, para aumentar la inercia combinada.

Generalmente, el espaciamiento entre soportes se hace de acuerdo con el espaciamiento de columnas ubicadas de forma conveniente. Se deben colocar los soportes después de cada cambio de dirección de la red de distribución y en lugares de concentración de cargas, tan cerca como sea posible para tener los esfuerzos flectores al mínimo nivel.

3.7.4. Cargas en soportes

Con la red de distribución uniforme en cuanto a tamaño de las tuberías y evitando la concentración elevadas de cargas, se contará con un sistema balanceado, en donde la carga en los soportes será aproximadamente la misma. Si existen cargas concentradas en la red, las cargas en los soportes se elevarán.

Para el diseño de soportes se toma en cuenta:

- Peso de la tubería y del aislamiento térmico.
- Peso de los fluidos contenidos en la línea de distribución; el líquido que exista en mayor cantidad.
- Cargas laterales producidas por vibraciones u oscilaciones de la línea o soportes.

3.8. Análisis financiero

Este estudio contiene los cálculos, la interpretación de porcentajes e indicadores para conocer el desempeño del proyecto en el presente y futuro desde el punto de vista financiero y económico.

3.8.1. Costos de implementación

Para el sistema de generación de vapor, el IGSS cuenta a su disposición con una caldera Cleaver Brooks de 125 BHP modelo CB 600-200, la cual puede trabajar a una presión máxima de 150 psi y que se encargará de suministrar la energía necesaria a las áreas que lo requieran dentro del hospital.

Los costos corresponderán a los materiales y equipos que se deben adquirir para realizar la instalación que permita producir la cantidad de vapor requerida.

Para fines del proyecto se toma en consideración la longitud de tubería necesaria desde el Departamento de Mantenimiento, donde se ubicará la caldera hasta el área de cocina, lavandería y autoclaves.

Se utilizará fibra de vidrio como aislante térmico debido a su alto índice de área superficial en relación al peso para evitar el intercambio innecesario de energía del sistema con el medio ambiente.

También es necesario el uso de trampas de vapor para tener un aprovechamiento óptimo del vapor del sistema y desechar todos los gases no condensables.

El aprovechamiento del combustible se incrementa, con el uso de un precalentador, el cual se encargará de reducir la temperatura de los gases de salida de la chimenea, además se producirá humo menos negro, derivado de la correcta relación entre partículas de oxígeno y combustible.

En la siguiente tabla se presentan costos estimados para la implementación del sistema de distribución y generación de vapor.

Tabla X. **Costo de equipo**

Descripción	Unidades	Precio unitario (Q)	Precio total (Q)
Trampas de vapor	5	2 400,00	12 000,00
Tubería de acero al carbono cedula 40 de 3 pulgadas	13	1 800,00	23 400,00
Tubería de acero al carbono cedula 40 de 2 pulgadas	15	800,00	12 000,00
Fibra de vidrio	160	113, 00	18 080,00
Juntas tipo fuelle	4	4 000,00	16 000,00
Soportes colgantes	50	240,00	12 000,00
Total			93 480,00

Fuente: elaboración propia.

3.8.2. Período de retorno de inversión

Este indicador demostrará al inversionista el periodo en el cual se recuperará el total de la inversión y a partir de qué momento empezará a percibir ganancias.

La División de Mantenimiento del IGSS, posee un presupuesto anual, el cual es asignado de acuerdo con el flujo de dinero histórico que ha percibido esta área de forma anual y con el cual deben cubrir los gastos de operación. Q142 000,00 es el ingreso que poseen y el egreso, está calculado en Q120 000,00 según los datos de adquisición de materiales e insumos para el área de mantenimiento, que tienen los centros de atención médica del IGSS.

Este proyecto requiere de Q93 480,00 para la implementación, por su naturaleza, el retorno es calculado a partir de los ahorros generados mensualmente.

En la siguiente tabla se muestra el flujo de efectivo.

Tabla XI. **Flujo de efectivo para un año calendario**

Núm.	Ingresos	Inversión	Egresos	Flujo neto
0		93 480,00		-93 480,00
1	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
2	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
3	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
4	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
5	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
6	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
7	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
8	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
9	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
10	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
11	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00
12	Q142 000,00		Q120 000,00	Q22 000,00

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el flujo de efectivo presentado, la inversión se recuperaría en cinco meses, permitiendo el desarrollo de futuros proyectos para el mejoramiento continuo del sistema.

Como no se requiere de un préstamo, para el cálculo de la TMAR (tasa mínima atractiva de rendimiento) correspondiente al proyecto, únicamente se toman en cuenta la tasa pasiva, la tasa de inflación y la de ganancia.

Tabla XII. **Tasas promedio**

Inversión	Q93 480,00
%capital propio	100 %
% de préstamo	0 %
Tasa pasiva anual	4 %
Tasa de inflación anual	4 %
Tasa de ganancia anual	20 %
TMAR anual	28 %
TMAR mensual	2,33 %

Fuente: elaboración propia.

3.8.3. Valor presente neto

Este método se utiliza para representar el valor del dinero en el presente, permite determinar si una un proyecto de inversión cumple con el objetivo de maximizar el capital inicial.

Este método se trabajó a partir de un flujo de caja que permite conocer el ingreso y egreso, a lo largo de un tiempo estipulado, utilizando los valores de las tablas XI Y XII.

Tabla XIII. **Valor presente neto**

Valor presente neto VPN	Q134 531,36
-------------------------	-------------

Fuente: elaboración propia.

El VPN es un valor positivo, lo que define a este proyecto como factible. Como es un valor alto, se recomienda la inversión en este proyecto.

3.8.4. Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador se utiliza en la evaluación de proyectos, se define como el valor de la tasa de descuento que hace el VAN igual a cero. La TIR, proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto que se analiza, determinando la rentabilidad de los egresos y los ingresos actualizados generados por una inversión.

A medida que la tasa es más alta, la rentabilidad del proyecto es mayor, para su cálculo se utilizaron los valores de las tablas XI, XII Y XIII.

Tabla XIV. **Tasa interna de retorno**

Tasa interna de retorno TIR	21,19 %
-----------------------------	---------

Fuente: elaboración propia.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Combustibles para calderas

Es el material capaz de liberar energía desde su forma química a una forma térmica o mecánica y que sea utilizable, a partir del desprendimiento del calor.

En una institución hospitalaria, para una caldera pirotubular se elige el combustible según su poder calorífico, calidad, disponibilidad en el medio y costo. Los más utilizados son los combustibles orgánicos mineralizados, como el carbón mineral, aceites y gas natural para producir energía por combustión.

4.1.1. Combustibles sólidos

Los combustibles sólidos producen cenizas u hollín, además si su combustión es rápida y violenta, son del tipo explosivo.

Cada combustible sólido posee determinada cantidad de humedad, temperatura de ignición, velocidad de propagación, conductividad térmica y otras características que harán más eficiente su aplicación en ciertos procesos.

4.1.2. Carbón mineral

Este combustible sólido es de los más utilizados, se origina a partir de la descomposición de vegetales terrestres que se acumulan en zonas pantanosas de poca profundidad. El carbón mineral, comúnmente, está formado por carbono, hidrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno.

Su uso se da frecuentemente en la producción de energía eléctrica, se utiliza como combustible en hornos o calefactores. Las variedades de este carbón son las siguientes:

- Turba: es carbón con poco tiempo de formación, es de constitución esponjosa y ligera, con proporción baja de carbono y gran cantidad de humedad.
- Lignito: contiene entre 20 a 30 % de carbono y produce gran cantidad de ceniza al quemarse.
- Antracita: es el carbón mineral de mejor calidad, con niveles de 90 a 97 % de carbono, se quema en su totalidad produciendo baja cantidad de humo y ceniza.
- Hulla: deja gran cantidad de ceniza al arder y tiene menor calidad y poder calorífico que la antracita, contiene entre el 75 al 90 % de carbono.

4.1.3. Bagazo de caña

El uso del bagazo de caña como combustible surge debido a la problemática energética a la que se enfrenta el planeta actualmente. Esta es una fuente de energía renovable que ofrece buenas características como combustible y que produce un impacto global positivo reduciendo el uso de combustibles fósiles.

El bagazo de caña es material privilegiado debido a la cantidad de humedad y calor específico que posee, que depende principalmente del contenido de azúcar y del tipo de caña.

Este es un material fibroso que se quema como la madera y que cumple con los requerimientos de combustible, conteniendo 45 % de carbono, 7 % de hidrógeno, 5 % de oxígeno y 2 % de ceniza.

4.1.4. Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos, son los que provienen del petróleo bruto, el cual contiene gran cantidad de compuestos hidrocarbonados, oxígeno, azufre y nitrógeno. El petróleo permite obtener gran cantidad de tipos de combustibles líquidos con gran cantidad de poder calorífico, densidad específica, densidad relativa y viscosidad.

Los principales combustibles líquidos son los aceites combustibles, los cuales son derivados del petróleo que pasan a partir de varios procesos de refinado, con una composición de 84 a 85 % de carbono en peso, 15 % de hidrógeno, 0,5 % de nitrógeno, 0,2 a 4 % de azufre, 2 % de agua y sedimentos.

4.1.4.1. Manejo de los combustibles líquidos

Los hospitales, como instituciones consumidoras de combustibles deben considerar medidas adicionales para el almacenamiento, distribución y transporte de sustancias inflamables.

- Los contenedores de materiales inflamables deberán
 - Soportar presiones internas resultantes de su propia función.
 - Estar contruidos con materiales resistentes al fuego y a la corrosión.

- Ubicarse a una distancia mayor a 60 metros de fuentes de calor o lugares que propicien la propagación del fuego en caso de incendio.
- Condiciones por considerar para tener en cuenta el manejo seguro
 - Evitar el contacto de sustancias inflamables con la piel y ropa.
 - No consumir alimentos o bebidas, ni fumar, ni cualquier otra actividad que sea fuente de ignición.
 - Evitar el contacto de combustibles con ácidos fuertes y agentes oxidantes.
 - No acumular trapos impregnados en lugares cerrados y con escasa ventilación.

4.1.5. Gases combustibles

Los gases combustibles o inflamables son gases que arden con facilidad cuando se les suministra un oxidante o una fuente de ignición. Pueden ser gases naturales como metano y etano y gases licuados de petróleo, principalmente propano y butano. De acuerdo con su concentración pueden ser explosivos.

Este tipo de gases se utiliza para proporcionar energía en aplicaciones domésticas e industriales, debido a la cantidad elevada de calor que se desprende en la combustión completa de una unidad de volumen de dicho gas. El calor específico del gas permite determinar la cantidad que se debe suministrar a cada equipo y con la densidad se puede determinar la carga y la velocidad a través de las tuberías.

4.2. Área de autoclaves

El diseño del área de central de equipos debe proporcionar de forma ininterrumpida los artículos requeridos por cada una de las áreas del hospital, este servicio debe procesar instrumentos médico-quirúrgicos de forma oportuna y optimizando recursos.

4.2.1. Cálculo del consumo de vapor

El hospital cuenta con tres autoclaves, que se pueden poner a funcionar en la red de distribución y que se encargarán de la esterilización de los instrumentos médicos a partir de su exposición al calor generado por el vapor. El consumo del vapor en libras por hora para cada equipo se toma de las especificaciones técnicas del fabricante:

Tabla XV. **Requerimientos de autoclave**

Equipo	Autoclave
Consumo de vapor	180 lb/h
Cantidad instalada	3

Fuente: elaboración propia.

4.3. Área de lavandería

En esta área se lleva a cabo la desinfección e higienización de la lencería hospitalaria a partir de la planificación, organización y procesos normalizados con personal capacitado.

4.3.1. Cálculo de consumo de vapor

El área de lavandería del hospital funciona de conformidad con el número de camas ocupadas que requieran de la esterilización de ropa y sábanas.

Siendo un hospital, se requiere que los procesos de lavandería, se lleven a cabo con las condiciones que permitan la esterilización de ropa y sábanas. Por lo que el suministro de vapor debe ser constante y contar con las características térmicas y de presión necesarias para realizar el trabajo.

4.3.1.1. Lavadoras industriales

En la actualidad se cuenta con cuatro lavadoras industriales que se encuentran en condiciones de ponerse a funcionar en la red de distribución de vapor. Los requerimientos para funcionamiento se toman de la placa base.

Tabla XVI. **Consumo de vapor de lavadora industrial**

Equipo:	Lavadora industrial
Capacidad:	140 lb
Presión de operación:	80 psi
Consumo de vapor:	210 lb/h
Cantidad de máquinas disponibles	4

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.2. Secadoras industriales

El hospital cuenta con tres secadoras industriales con capacidad de 70 lb; el consumo de vapor se obtiene del manual de especificaciones técnicas del fabricante.

Tabla XVII. **Consumo de vapor de secadora industrial**

Equipo:	Secadora industrial
Capacidad:	70 lb
Presión de operación:	120 psi
Consumo de vapor:	260 lb/h
Cantidad de máquinas disponibles	3

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Planchadoras industriales

El hospital cuenta con dos planchadoras industriales tipo prensa, únicamente dos son funcionales. El consumo de vapor de cada equipo se obtiene del manual de especificaciones técnicas del fabricante:

Tabla XVIII. **Consumo de vapor de planchadora industrial tipo prensa**

Equipo:	Planchadora industrial tipo prensa
Capacidad:	14 piezas por hora
Presión de operación:	80 psi
Consumo de vapor:	60 lb/h
Cantidad de máquinas disponibles	2

Fuente: elaboración propia.

4.4. Área de cocina

El hospital debe ser capaz de proporcionar alimentos a pacientes y trabajadores a través de rutinas de trabajo, utilizando marmitas para la cocción de alimentos.

4.4.1. Cálculo del consumo de vapor

Para el área de cocina se cuenta con cuatro marmitas industriales funcionales, capaces de satisfacer la demanda de alimentos en el hospital.

Tabla XIX. Consumo de vapor de marmita industrial

Equipo:	Marmita industrial
Capacidad:	45 galones
Presión de operación:	25 psi
Consumo de vapor:	100 lb/h
Cantidad de máquinas disponibles	4

Fuente: elaboración propia.

4.5. Capacidad de producción de vapor de la caldera

Se establecen y se suman los consumos totales de vapor en libras por hora para cada equipo del hospital hasta obtener el consumo total de vapor.

Tabla XX. Consumo total de vapor

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (lb/h)	Consumo total (lb/h)	Consumo total (kg/h)
Autoclave	3	180	540	244,94
Lavadora	4	210	840	381,02
Secadora	3	260	780	353,80
Planchadora	2	60	120	54,43
Marmita	4	100	400	181,44
Total	16	810	2 680	1 215,63

Fuente: elaboración propia.

Debido a que estos equipos no se utilizan simultáneamente, se recomienda considerar un 70 % como factor de simultaneidad para el cálculo del consumo real y evitar el sobredimensionamiento de la caldera.

En el caso del hospital, que contempla un crecimiento de sus instalaciones, se debe considerar el factor de ampliación para satisfacer la demanda de vapor con la caldera cuando se le requiera.

Como este es un proyecto nuevo, para el cual se ha determinado que albergará cada vez más pacientes, se estima un incremento anual en el consumo de vapor, por lo que un 25 % como factor de ampliación, cubrirá los primeros años de operación.

Como la caldera opera a 100 psi y el agua de alimentación está a 43°C, se obtiene un factor de evaporación de 1,145, utilizando el anexo 2.

Además, se sabe que 1 HP caldera es igual a 15,65 kg/h de vapor.

Tabla XXI. **Resumen de consumo**

Consumo total	1 215,63 kg/h
FS	70
Consumo real	850,94 kg/h
FE	1,145
Consumo nominal	974,33 kg/h
HP caldera	62,26 BHP
HP caldera real	77,82 BHP

Fuente: elaboración propia.

4.5.1. Rendimiento térmico de la caldera

El calor producido al quemarse el combustible de una caldera, no se transmite en su totalidad al agua de calefacción, existirá pérdidas debidas al diseño de la caldera y su regulación. En cualquier condición se puede considerar que el rendimiento de la caldera es producto de la relación entre el calor que se transmite al agua de calefacción y la energía suministrada por el combustible.

El rendimiento térmico de la caldera se da:

$$eb = \frac{ms(hg - hf) * 100}{mf} * F$$

Donde:

eb= rendimiento térmico de la caldera

hg= entalpía de vapor saturado en KJ/kg

hf= entalpía del agua de alimentación en las condiciones a las que esa agua llega a la caldera, KJ/kg

ms= peso del vapor producida por la caldera, en kg/h

mf= peso total del combustible quemado en kg/h

F= poder calorífico superior del combustible quemado en KJ/kg

4.5.2. Características de la caldera

El sistema de generación de vapor Cleaver Brooks con el que cuenta el hospital del IGSS, consta de una caldera pirotubular, con diseño simple y con flexibilidad de operación.

El diseño de la caldera permite que el volumen de agua absorba fácilmente las variaciones en la demanda de vapor, además el mantenimiento es mucho más económico debido a las impurezas son eliminadas fácilmente por las purgas y que las incrustaciones se originan por el lado externo de los tubos.

En algunas ocasiones, de acuerdo con la demanda o a la programación del mantenimiento, resulta factible tener dos calderas para cumplir con la demanda de vapor de los equipos. Debe realizarse un análisis de la continuidad en el uso del vapor para determinar si es necesario y tomar una decisión acertada.

4.6. Diseño de la red de vapor

Como la caldera trabajará a 7,14 kg/cm² o 7 bar (100 psi) se obtendrá una caída máxima de presión de 0,21 bar (3 psi) en cada una de las tuberías de distribución.

Por lo que cada uno de los equipos dispondrá de una presión de 6,79 bar (97 psi), que equivalen al 3 % de la presión de trabajo de la caldera.

4.6.1. Establecer diámetro de tuberías

Se realizó el análisis del plano de las instalaciones del hospital y se realizaron las medidas físicas necesarias para determinar el diámetro y accesorios para cada una de las tuberías. Conociendo la cantidad de accesorios se calculó la longitud equivalente.

Para la tubería principal de la lavadora se tiene:

Longitud real de tubería principal a lavadoras = 20 m

Diámetro asumido = 2"

Cantidad de codos = 6

Cantidad de T's = 6

Cantidad de válvulas de compuerta = 2

Haciendo uso del anexo 3, para el diámetro asumido, se obtiene:

Longitud equivalente por codo de 2" = 1,6 m

Longitud equivalente por "T" de 2" = 3,2 m

Longitud equivalente por válvula de compuerta 2" = 0,4 m

Total de longitud equivalente = $(6 \cdot 1,6) + (6 \cdot 3,2) + (2 \cdot 0,4) = 30,8$ m

Longitud total de tubería recta = $30,8 + 20 = 50,8$ m

En el anexo 4, para tuberías de 2", se determina que para la caída de presión que representan las lavadoras de 381,02, se puede manejar 400 kg/h con una caída de 180 Pa/m, que es lo necesario.

Con esta información se verifica si la caída de presión es la permitida o no. Para una caída de presión de 180 Pa/m en una longitud de tubería de 50,8 m se tendrá una caída final de:

Caída de presión = $(180 \text{ Pa/m}) (50,8 \text{ m}) = 0,09$ bar

Esta caída de presión está dentro de la permitida para cada uno de los equipos, por lo que se define el diámetro de 2" es el indicado para la tubería de las lavadoras. De esta misma manera se realizó el cálculo para conocer los diámetros de las demás líneas de vapor del sistema.

A continuación, se presenta una tabla donde se detalla la información calculada para obtener el diámetro para cada una de las líneas de vapor.

Tabla XXII. Longitud de tuberías

Tubería	Accesorios				Long equiv (m)	Long tubería (m)
	Codos	T's	Val comp	Reg. Presión		
Cabezal	1	0	1	0	2,90	3,00
Principal a lavadoras	6	6	2	0	29,20	20,00
Principal a secadoras	6	5	1	0	26,00	15,00
Principal a planchadoras	4	5	1	0	11,4	17,00
Principal a marmitas	6	6	1	0	19,50	15,00
Principal a autoclaves	4	4	1	0	15,10	10,00
Ramal a lavadoras	1	0	1	1	8,00	2,00
Ramal a secadoras	1	0	1	1	6,00	2,00
Ramal planchadoras	1	0	1	1	2,8	2,00
Ramal a marmitas	1	0	1	1	5,6	2,00
Ramal a autoclaves	1	0	1	1	6,00	2,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Flujo de condensado**

Tubería	Longitud total (m)	Caída presión (bar)	Caída presión (Pa/m)	Diámetro (in)	Diámetro comercial
Cabezal	5,90	0,014	240	3	3
Principal a lavadoras	40,20	0,09	180	2	2
Principal a secadoras	41,00	0,07	180	2	2
Principal a planchadoras	28,40	0,07	240	1	1
Principal a marmitas	34,50	0,15	450	1 ¼	1 ¼
Principal a autoclaves	25,10	0,11	450	1 1/2	1 1/2
Ramal a lavadoras	10,00	0,12	1200	1	1
Ramal a secadoras	8,00	0,10	1200	1	1
Ramal planchadoras	4,80	0,01	240	3/4	3/4
Ramal a marmitas	7,60	0,09	1200	3/4	3/4
Ramal a autoclaves	8,00	0,04	450	1	1

Fuente: elaboración propia.

4.6.2. Establecer cargas de condensado

Para establecer las cargas de condensado por radiación que las trampas de vapor drenarán de cada una de las líneas de distribución, mientras funciona el sistema de generación, se utilizó el anexo 5, requiriendo la presión del vapor, diámetro de la línea de vapor por drenar y los factores de seguridad recomendados según la ubicación de la trampa de vapor. Para estos cálculos se asume que las tuberías contarán con un aislante térmico con eficiencia del 75 %.

El flujo de condensado que se debe drenar, se determina a partir de la capacidad requerida mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad requerida} = (FS)(CV)(A)$$

Donde:

FS= Factor de seguridad de 1,5.

A= Acarreo anticipado (usualmente 10 %)

CV= Capacidad nominal de la caldera de 2 148,02 lb/h

El flujo de condensado de ramales y tuberías principales, se determinó a partir del anexo 5 y de conocer la longitud de tuberías, carga de condensación en tuberías y factor de seguridad. La carga de condensado por drenar de la tubería principal de las lavadoras, se estableció de la siguiente forma:

La presión de operación es de 7 bar, pero esta no se encuentra en la tabla, por lo que se interpolará linealmente, entre 4 bar y 8 bar debido a que son las presiones disponibles. De esta manera, para la tubería principal de 2" de las lavadoras la carga de condensado es de 0,16 kg/h m para 4 bar y de 0,22kg/ h m para 8 bar, por lo que la carga de condensación para 7 bar es de 0,205 kg/h m.

Para finalizar se multiplica la longitud de la tubería (20 m) por la carga de condensación calculada y por el factor de seguridad (2), obteniendo el flujo de condensado por drenar de la línea de vapor principal hacia las lavadoras:

$$\text{Carga por drenar por radiación} = 0,205 * 20 * 2$$

$$\text{Carga por drenar por radiación} = 8,2 \frac{kg}{h}$$

De esta manera, se hizo el cálculo de la carga por drenar por radiación para cada una de las demás tuberías, obteniendo la información que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla XXIV. **Carga de condensado por radiación**

Distribución	Acarreo anticipado	Carga de vapor (kg/h)	Factor de seguridad	Flujo de condensado por drenar (kg/h)
Cabezal	0,10	974,33	1,5	146,15
Distribución	Longitud (m)	Carga (kg/h x m)	Factor de seguridad	Flujo de condensado por drenar (kg/h)
Principal a lavadoras	20,00	0,205	2	8,20
Principal a secadoras	15,00	0,205	2	6,15
Principal a planchadoras	17,00	0,12	2	2,04
Principal a marmitas	15,00	0,15	2	2,81
Principal a autoclaves	10,00	0,17	2	2,55
Ramal a lavadoras	2,00	0,12	3	0,72
Ramal a secadoras	2,00	0,12	3	0,72
Ramal planchadoras	2,00	0,10	3	0,60
Ramal a marmitas	2,00	0,10	3	0,60
Ramal a autoclaves	2,00	0,12	3	0,72
TOTAL				171,26

Fuente: elaboración propia.

Con estos cálculos, se obtendrán las cargas de condensado por precalentamiento utilizando el anexo 6, se necesitan los datos de presión de operación, diámetro de la línea de vapor y el tiempo permitido para que se calienten las tuberías a la temperatura final de vapor (20 min).

Para la tubería principal de las lavadoras, se debe interpolar entre la presión de 4 bar y 8 bar. Para una tubería de 2", se obtiene una carga de precalentamiento de 0,334 kg/m para 4 bar y 0,409 kg/m para 8 bar, por lo que se calcula que la carga para 7 bar es de 0,18 kg/m.

Por último, se debe multiplicar la carga de precalentamiento calculada por la longitud de la tubería (20 m) y dividirla por el tiempo que se tardaría la tubería completa en llegar a la temperatura del vapor (20 min o 0,33 h):

$$\text{Flujo de condensado: } (0,18 * 20) / 0,33 = 10,91 \text{ kg/h}$$

De esta manera se realiza el cálculo para las demás líneas de distribución del sistema:

Tabla XXV. **Cargas de precalentamiento**

Distribución	Longitud (m)	Carga (kg/m)	Tiempo de calentamiento (h)	Flujo de condensado (kg/h)
Principal a lavadoras	20,00	0,18	0,33	10,91
Principal a secadoras	15,00	0,18	0,33	8,18
Principal a planchadoras	17,00	0,09	0,33	4,64
Principal a marmitas	15,00	0,12	0,33	5,45

Continuación de la tabla XXV

Principal a autoclaves	10,00	0,14	0,33	4,24
Ramal a lavadoras	2,00	0,09	0,33	0,54
Ramal a secadoras	2,00	0,09	0,33	0,54
Ramal planchadoras	2,00	0,09	0,33	0,54
Ramal a marmitas	2,00	0,09	0,33	0,54
Ramal a autoclaves	2,00	0,09	0,33	0,54
TOTAL				36,12

Fuente: elaboración propia.

4.6.3. Establecer dimensiones de piernas colectoras

La importancia de las piernas colectoras se da en la recolección del condensado, para este procedimiento se utilizará precalentamiento automático para evitar pérdidas por desechar agua tratada al cerrar y abrir válvulas manualmente.

Cada equipo tendrá la capacidad de drenar el condensado en todo momento, en el arranque como durante la operación del sistema de generación de vapor.

Las dimensiones de las piernas colectoras se establecen a partir del uso de la tabla VIII. En esta tabla se utiliza el diámetro de la tubería y se define el tipo de precalentamiento, en este caso automático.

En la siguiente tabla se presentan los datos de longitud y diámetro que debe tener cada pierna colectoras que se colocará en las líneas de distribución.

Tabla XXVI. **Diámetro y longitud de piernas colectoras**

Piernas colectoras de tubería	Diámetro de tubería (in)	Diámetro de pierna (in)	Longitud de pierna (mm)
Cabezal	3	3	710
Principal a lavadoras	2	2	710
Principal a secadoras	2	2	710
Principal a planchadoras	1	1	710
Principal a marmitas	1 ¼	1 ¼	710
Principal a autoclaves	1 ½	1 ½	710
Ramal a lavadoras	1	1	710
Ramal a secadoras	1	1	710
Ramal planchadoras	¾	¾	710
Ramal a marmitas	¾	¾	710
Ramal a autoclaves	1	1	710

Fuente: elaboración propia.

4.6.4. Selección de trampas de vapor

Para la selección de trampas de vapor se toman en cuenta las cargas de condensado con precalentamiento calculado para cada una de las líneas de vapor, debido a que se utilizará un sistema automático.

Utilizando el anexo 7, se determina el tamaño del orificio que necesita una trampa de vapor en función de la presión y la cantidad de condensado que debe drenar, por lo que, para la tubería principal de las lavadoras, considerando la presión de 7 bar el flujo más cercano a los 10,91 kg/h, se encuentra un orificio de 7/64 que puede drenar hasta 291 kg/h.

Se estima que una conexión de ½” será la indicada debido a la poca cantidad de condensado que se debe drenar y al bajo costo que representa su adquisición. Se recomiendan las trampas de vapor de balde invertido debido su forma de operación conveniente en cada una de las líneas de vapor del sistema:

Tabla XXVII. Tipos de trampas de vapor

Tuberías	Metal de construcción	Carga de condensado (kg/h)	Orificio (in)	Conexiones (in)
Cabezal	Hierro fundido	146,15	7/64	1/2
Principal a lavadoras	Hierro fundido	10,91	7/64	1/2
Principal a secadoras	Hierro fundido	8,18	7/64	1/2
Principal a planchadoras	Hierro fundido	4,64	7/64	1/2
Principal a marmitas	Hierro fundido	5,45	7/64	1/2
Principal a autoclaves	Hierro fundido	4,24	7/64	1/2
Ramal a lavadoras	Hierro fundido	0,54	7/64	1/2
Ramal a secadoras	Hierro fundido	0,54	7/64	1/2
Ramal planchadoras	Hierro fundido	0,54	7/64	1/2
Ramal a marmitas	Hierro fundido	0,54	7/64	1/2
Ramal a autoclaves	Hierro fundido	0,54	7/64	1/2

Fuente: elaboración propia.

4.6.5. Juntas de expansión térmicas

Debido al diseño de la red de vapor, los tramos cortos de tubería, diámetros pequeños, codos que no sufrirán pérdidas de energía considerable, no se hace necesario el uso de juntas de expansión térmica, siendo los cambios de dirección de tubería y sus accesorios los encargados de absorber las variaciones de longitud que se provoquen durante el funcionamiento, sin que ocurran daños en el equipo.

4.6.6. Aislamiento térmico de las tuberías

Para mejorar el ahorro y la eficiencia energética del sistema, se utilizará aislamiento térmico para tuberías, el espesor que corresponde a las cañuelas viene dado por el anexo 8. Se deben conocer la temperatura de operación del vapor y el diámetro de la tubería.

Para determinar el espesor del aislamiento para la tubería principal de las lavadoras, se busca en el rango de 122 a 177 °C, el cual contiene los 170 °C que es la temperatura de operación del vapor. De esta misma manera se determinan los espesores de aislante para las demás tuberías del sistema.

Tabla XXVIII. **Espesores de aislamiento**

Tubería	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Espesor (in)	Espesor comercial (in)
Cabezal	3	76	64	2,50	2,50
Principal a lavadoras	2	50	64	2,50	2,50
Principal a secadoras	2	50	64	2,50	2,50

Continuación de la tabla XVIII

Principal a planchadoras	1	25	51	2	2
Principal a marmitas	1 ¼	32	64	2,50	2,50
Principal a autoclaves	1 ½	38	64	2,50	2,50
Ramal a lavadoras	1	25	51	2	2
Ramal a secadoras	1	25	51	2	2
Ramal planchadoras	¾	19	51	2	2
Ramal a marmitas	¾	19	51	2	2
Ramal a autoclaves	1	25	51	2	2

Fuente: elaboración propia.

4.7. Precalentador de aire para caldera

Este sistema funciona como un economizador aprovechando el calor de los humos para mejorar la eficiencia de producción de vapor, a través de precalentar del aire comburente.

Los humos son una fuente de energía, que se utiliza para incrementar la eficiencia del sistema en un 5 a 10 % con cualquier tipo de combustible.

De acuerdo con el principio operativo en el proceso de transferencia de calor, se clasifican en:

- Precalentadores recuperativos: transfieren el calor a través de superficies de contacto, que separan los flujos de humos y del aire comburente.
- Precalentadores regenerativos: transfieren el calor de forma indirecta, exponiendo los flujos de aire caliente y frío, de forma periódica y alternativa.

4.7.1. Control de nivel de agua

Este es uno de los elementos de seguridad y de eficiencia que frecuentemente deben supervisarse en una caldera de vapor. El control debe llevarse por medio de controles manuales o electrónicos.

La variación en el nivel del agua, es un indicador que debe considerarse para anticiparse a alguna falla o saber que la circulación interna es la correcta. La lectura de nivel de forma visual es poco fiable, debido a que interfieren aspectos que impedirán la lectura correcta de los datos.

Entre los controladores más habituales se tienen los electrodos y los flotadores.

- Electrodo sumergido: utiliza el agua de la caldera para cerrar el circuito del quemador, si el nivel de agua cae por debajo del electrodo, la señal eléctrica se cortará y ocasionará que el quemador deje de funcionar.
- Flotador: es el más simple de funcionamiento, consta de una boya o flotador que se mantiene en posición horizontal cuando el nivel de agua es normal y mantendrán una variación proporcional.

Este flotador se conecta a un mecanismo eléctrico que actúa sobre la bomba permitiendo el flujo de agua de manera intermitente, según sea necesario.

4.7.2. Controles de purga

La generación de vapor en la caldera produce una serie de minerales como sílice, magnesio, calcio, entre otros, los cuales, si no se controlan, pueden causar generación ineficiente de vapor y daños al equipo.

El agua de alimentación, proviene de un pozo municipal, por lo que este tipo de agua contiene un nivel alto de dureza y una elevada cantidad de sólidos disueltos. La dureza es proporcional a la cantidad de sales de calcio y magnesio, y es una de las características perjudiciales para el funcionamiento de las calderas, estos minerales se incrustan en las paredes de los tubos limitando el paso de los gases con el riesgo de producir deformaciones o rupturas.

El total de sólidos disueltos lo conforman los cloruros, sulfitos y fosfatos, estos con mayor densidad que la del agua de la caldera, se depositan en el fondo, causando interferencia con la transferencia de calor de los tubos. Normalmente los sólidos disueltos con menor densidad se mantendrán en suspensión formando espuma que arrastrará la mezcla de vapor del sistema.

Se deben considerar tres aspectos para realizar una purga continua: la calidad del agua que se encuentra dentro, ciclos de concentración y total de partículas. Esto permitirá realizar la cantidad óptima de purgas, sin incurrir en incremento de costes por consumo adicional de agua, químicos y combustibles.

4.8. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

La generación de vapor en la industria consume una gran cantidad de energía térmica, la cual se obtiene a partir de un combustible. El proceso de combustión libera a la atmósfera dióxido de carbono, gas de efecto invernadero.

4.8.1. Consumo de búnker

El búnker C o *fueloil* se encuentra entre los aceites combustibles que se utilizan para el funcionamiento de hornos, calderas y plantas de generación de energía eléctrica.

Este combustible comúnmente proviene de la primera etapa de refinación, posee viscosidad variable y con un alto potencial energético. En los procesos de refinación se obtienen productos derivados como aceites y lubricantes.

El *fueloil*, se clasifica en seis clases, los del No. 1 al No. 3 se clasifican como *fueloil* ligeros, el No. 4 es mezcla entre *fueloil* destilado y residuales. Los No. 5 y No. 6 se consideran como pesados.

Los *fueloil* pesados, son los que se utilizarán en la caldera pirotubular, estos son los residuales de procesos de extracción de gasolina y *fueloil* destilado. Normalmente, el No. 5 contiene aproximadamente 80 % de número 6 y 20 % de número 2. El número 6 puede contener una cantidad pequeña de No. 2.

La viscosidad de los combustibles pesados debe controlarse para facilitar su manejo a través de equipos de bombeo para el suministro hacia la caldera. En los quemadores debe tener una viscosidad entre 100 y 200 SSU a una

temperatura de 100 °F (37,8°C), con una mayor viscosidad se requiere de precalentamiento.

Tabla XXIX. **Propiedades físicas y químicas del búnker C (*fueloil*)**

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo	Límite de Especificación
Densidad a 15 °C	936,6	913,6	988,6	Reportar
Fracción de volumen agua y sedimento	0,13 %	0,03 %	1,00 %	Máximo 2,00 %
Temperatura de inflamación	110,9 ° C	82,0 ° C	132,0 ° C	Mínimo 60,0 ° C
Viscosidad a 50 °	80,84 SSF	33,00 SSF	183,00 SSF	Máximo 300 SSF
Punto de fluidez	19,46 ° C	0,00 ° C	30,00 ° C	Máximo 30,0 ° C

Fuente: https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Manual_Productos.pdf.

Consulta: 28 de febrero de 2019.

4.8.2. Pretratamiento del agua

El pretratamiento del agua para caldera incluye suavizadores, a través de los cuales pasa el agua que está ingresando del exterior. Los suavizadores se encargan de ablandar el agua a partir del uso de medios mecánicos o químicos con el fin de conservar la caldera libre de corrosión y reducir las incrustaciones.

La corrosión es uno de los problemas principales por los que se trabaja con suavizadores. Cuando una de las piezas de las calderas se daña, como un tubo, se debe cambiar por completo y la producción de vapor se detiene mientras se realiza la reparación, ocasionando así altos costes debidos al paro del equipo.

Figura 22. **Resultados de la corrosión en tubería**



Fuente: <http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>.

Consulta: 1 de marzo de 2019.

La corrosión se genera a partir de las partículas de oxígeno presentes en el agua de alimentación que reaccionan con los componentes metálicos de la caldera. Además, el agua contiene altos niveles de sales de calcio y magnesio que formarán incrustaciones en la tubería, bloqueando parcial o totalmente la sección transversal del tubo.

En la siguiente tabla se muestran los valores aceptables para agua de alimentación de caldera para un funcionamiento eficiente de acuerdo con la norma británica BS-2486:

Tabla XXX. **Requerimientos agua alimentación calderas de vapor**

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: <http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>.

Consulta: 1 de marzo de 2019.

Con la implementación de pretratamiento de agua para caldera se mantendrá un uso eficiente de insumos y alto porcentaje de energía producida.

Entre los beneficios de la implementación de este sistema están los ahorros debidos al aumento de la eficiencia y la prolongación de la vida útil del equipo, incrementando los ahorros y haciendo un mejor uso del presupuesto.

4.8.3. Precalentamiento del aire

El precalentamiento del aire es un método que transfiere calor de los gases de combustión al aire que ingresa a la cámara de combustión y así mejorar la eficiencia térmica.

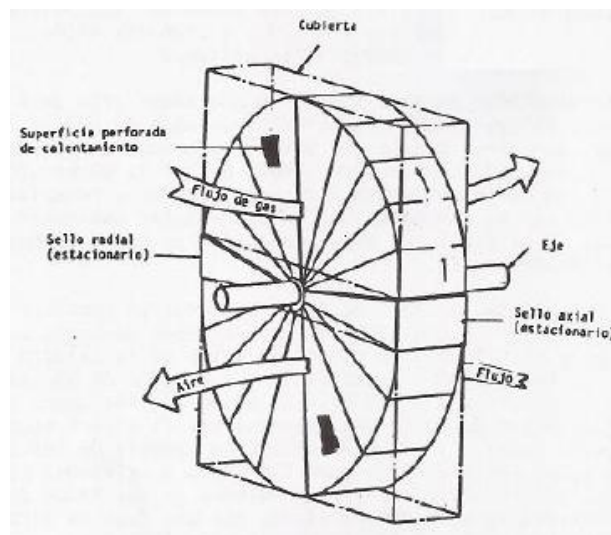
El sistema de generación propuesto debe contar con este sistema de precalentamiento, para incrementar la eficiencia general del sistema y minimizar los costos operativos que demuestren la rentabilidad de este proyecto.

En una caldera, se debe elevar la temperatura del aire de combustión, aproximadamente 20 °C, para obtener una mejora de 1 % en la eficiencia térmica.

El método considerado consiste en la instalación de un intercambiador de calor en la salida de la chimenea, utilizando una corriente de gases de combustión que salen de la caldera, para calentar la corriente de aire que se suministre.

El precalentador propuesto es uno regenerativo y consta de un cilindro rotativo con láminas de acero que transmite el calor de los gases de la chimenea a través de una mitad del ducto, mientras que el aire del compresor absorbe este calor al pasar a través de la otra mitad.

Figura 23. **Precalentador de aire regenerativo**



Fuente: SEVERNS, William; DEGLER, Howard; MILES, John. *Energía mediante el vapor de agua, el aire o gas*. p. 114. p. 117.

4.8.4. Filtros de aire

Para la reducir la contaminación del aire y efectos tóxicos producidos por partículas respirables procedentes del funcionamiento de la quema del combustible dentro de la caldera, se debe utilizar un filtro de agua que lave los gases a partir de un caudal elevado en recirculación, reteniendo las partículas que no se han quemado por completo.

Este tipo de filtro obtiene los gases, atrapándolos en la salida de la chimenea partir de un ventilador que dirige los dirige a un contenedor, donde con agua a presión, se separan los sólidos contaminantes y son evacuados con una disminución significativa de partículas tóxicas, el agua puede ser reutilizada de forma indefinida.

5. SEGUIMIENTO O MEJORA

5.1. Mediciones

Una vez establecido el sistema, se pondrán en práctica procedimientos que servirán de indicadores para conocer el desempeño del sistema y establecer niveles de trabajo que contribuyan al funcionamiento eficiente del equipo y del personal.

5.1.1. Controles de contaminantes en emisiones

Los gases de combustión que se escapan por la chimenea contienen una gran variedad de subproductos debido a que el combustible no se quema en su totalidad, los minerales y componentes químicos de los combustibles pueden mezclarse en el proceso de generación de vapor y contaminar el medio ambiente, por lo que su control resulta determinante para la reducción del impacto ambiental.

A continuación, se presentan los niveles aceptables de partículas contaminantes en la emisión de gases de combustión en la salida de la chimenea.

Tabla XXXI. Niveles aceptables de emisión gases

	Nitrógeno	CO ₂	SO ₂	Agua	Oxígeno
Aire estequiométrico/base seca	83,6	16,1	0,20	0	0
Aire estequiométrico/base húmeda	74,7	14,4	0,18	10,7	0
25% exceso aire/base seca	82,8	12,7	0,15	0	4,4
25% exceso aire/base húmeda	75,6	11,6	0,14	8,7	4

Fuente: Optimización de la combustión.

<http://www.tiemporeal.es/archivos/optimizacioncombustion.pdf>. Consulta: 3 de marzo de 2019.

5.1.2. Control de presión de trabajo

La caldera debe operar a una presión mayor a la presión de trabajo de los equipos, debido a las caídas de presión inevitables que ocurren durante el recorrido del vapor a través de la red de distribución.

Para hacer un uso eficiente de los insumos se debe optar por reducir la presión de trabajo, una vez se haya alcanzado la eficiencia requerida, disminuirá la cantidad de calor perdida por radiación y la cantidad de fugas en bridas y empaques. Además, las caídas de presión disminuirán y llegará un mejor flujo de presión hacia los equipos que lo requieran. El ahorro oscila entre 1 % y 2 % del costo del combustible.

El nivel de presión producido debe ser el necesario para el correcto funcionamiento de los equipos. El equipo que requiera de mayor presión será el que marcará la presión de trabajo de la caldera. No se recomienda reducir la presión más del 20 % de la original.

5.2. Drenajes y combustibles

El drenaje de condensado en el sistema estará a cargo de las trampas de vapor, las cuales requieren de válvulas y accesorios para su correcto funcionamiento. Deberán evacuar vapor condensado, aire y dióxido de carbono, para reducir las pérdidas de energía, las piezas utilizadas deben brindar resistencia a la corrosión. Los dos tipos de trampas de vapor que se pueden utilizar son:

- Flotador: la posición del flotador es accionado por el nivel del condensado en la trampa. De esta manera, el mecanismo del flotador, funciona abriendo y cerrando la válvula para compensar.
- Termodinámica o balde invertido: este dispositivo emplea la densidad como principio de operación y es de tipo intermitente. Es capaz de moverse verticalmente haciendo la función de obturador y verificador a la vez.

Los tanques de almacenamiento de combustible están diseñados para ser enterrados o instalados a una superficie con alta resistencia mecánica. Además, se debe considerar:

- El tanque debe resistir las presiones internas resultantes de su propia función.
- El tanque y las tuberías deben resistir a procesos corrosivos o de desgaste que se den por el paso del tiempo o por su contacto con diferentes compuestos químicos presentes en el combustible.

- Para la instalación de tanques subterráneos se debe determinar si el terreno es apto o no para la instalación.
- La instalación debe estar alejada de cualquier fuente que permita su combustión o que le transmitan excesivo calor.
- Los lugares de instalación deben estar acondicionados con extintores y con el espacio suficiente para actuar en caso de emergencia.

5.2.1. Control y supervisión

El objetivo de contar con un plan de control y supervisión es poner a total disposición de los procesos que se desarrollan en el hospital, una sala de calderas en condiciones que permitan un funcionamiento eficiente y libre de errores.

El manejo de la caldera debe llevarse a cabo según las recomendaciones prescritas por el fabricante de la caldera, como del resto de equipos que forman parte del sistema de generación y distribución de vapor.

El funcionamiento eficiente de esta instalación se logrará a partir de la asignación de operaciones para conservar los equipos, consistirán en:

- Operaciones diarias
 - Verificación de los reactivos utilizados en el tratamiento de agua para caldera.
 - Verificar temperatura de los gases de chimenea.
 - Verificar la temperatura de aportación de agua.
 - Registrar temperatura de ida y retorno de agua caliente.

- Operaciones semanales
 - Análisis del agua del interior de la caldera para ajustar purgas y la cantidad de aditivos suministrados en el agua de alimentación.
 - Comprobar el correcto funcionamiento de termómetros, termostatos, manómetros y presostatos.
 - Limpieza de filtros y verificación del funcionamiento del encendido del quemador.
 - Verificar el correcto funcionamiento de válvulas manuales que pertenecen a la caldera.

- Operaciones mensuales
 - Verificar el correcto funcionamiento de dispositivos de cierre de combustible, indicador de presión, seguridad y control de la llama.
 - Comprobar el correcto funcionamiento del interruptor de emergencia.
 - Análisis de gases de chimenea y ajuste de combustión.

- Operaciones semestrales
 - Limpieza de tubos de humos, eliminando hollín e incrustaciones.

5.3. Mejora continua

Este será un enfoque para la mejora de los procesos del área de mantenimiento del hospital, que tienen relación directa con el sistema de generación y distribución de vapor, consistirá en revisar continuamente las operaciones para reducir problemas, costos de oportunidad y otros factores que permitan la optimización.

5.3.1. Inspecciones a caldera

Para la conservación del sistema de generación y distribución de vapor, se deben realizar las siguientes inspecciones periódicas:

- Inspección en servicio: llevar el registro de todos los equipos para asegurar que funcionan a una presión correcta y ejecutar inspecciones visuales y auditivas de todas las partes que componen el sistema para comprobar que cumplen con las condiciones de operación requeridas.
- Esta inspección puede ser desarrollada por las empresas que realizan instalaciones de equipos a presión, el fabricante o por los operarios del área que posean los conocimientos técnicos necesarios. Debe realizarse cada año.
- Inspección fuera de servicio: verificar espesor de tuberías, verificación y puesta a prueba de accesorios de seguridad y ensayos no destructivos que proporcionen información del estado actual del sistema. Debe realizarse cada tres años.
- Inspección fuera de servicio con prueba de presión: realizar prueba hidrostática para comprobar que no existen deformaciones ni fugas que se hayan generado durante el uso de la caldera. Debe realizarse cada seis años.

5.3.2. Nivel óptimo de dureza del agua

Las incrustaciones en la caldera y la red de distribución se deben a la cantidad de minerales como calcio y magnesio que contiene el agua de alimentación. Con la dureza se cuantifican las sales de calcio y magnesio disueltas en el agua de la fuente suministradora. Entre mayor alcalinidad posea el agua cruda, mayor necesidad se tendrá de usar químicos que contrarresten los agentes corrosivos.

En la siguiente tabla se especifican los niveles óptimos de concentración de sales que deben encontrarse en el agua durante la operación del sistema.

Tabla XXXII. Índices de dureza del agua

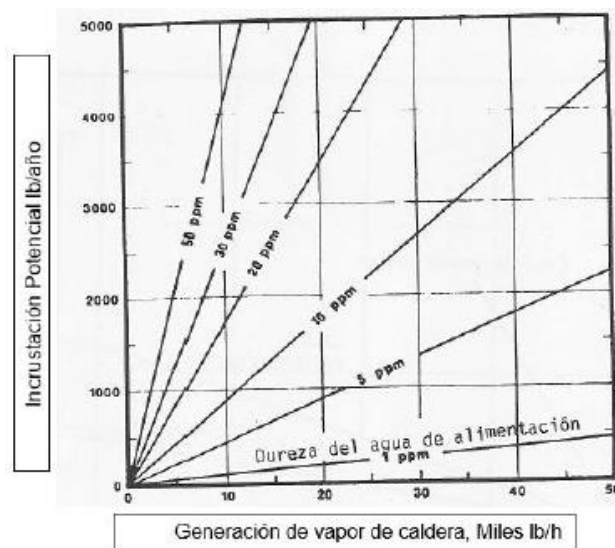
<i>Denominación</i>	ppm de CaCO₃
Muy suaves	0-15
Suaves	16-75
Medias	76-150
Duras	150-300
Muy duras	Mayor a 300

Fuente: Índices. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf. Consulta: 8 marzo de 2019.

Cualquier tipo de incrustación que se genere es indeseable en la caldera, debido a que dificulta la transferencia de calor entre los tubos y el ambiente que les rodea. Además, se elevan los costos por mantenimiento y reparación de equipo.

En base a las consideraciones técnicas del manual operativo de la caldera Cleaver Brooks, se estima la incrustación potencial según los niveles de trabajo de la caldera, con la siguiente gráfica se puede relacionar la cantidad de incrustación potencial frente a la generación de vapor del sistema. Durante el mantenimiento del equipo de generación, se debe medir el grosor de la incrustación de los tubos para determinar el resultado.

Tabla XXXIII. Incrustación potencial de la caldera



Fuente: SEVERNS, William; DEGLER, Howard; MILES, John. *Energía mediante el vapor de agua, el aire o gas*. p. 314.p. 344.

5.4. Capacitación del recurso humano

Se deben desarrollar pruebas para el personal operativo, a fin de determinar la capacidad de cada uno de los trabajadores y decidir si se deben llevar a cabo promociones, traslados, capacitaciones o terminaciones.

Este proceso busca proporcionar una descripción adecuada del desempeño del empleado en el pasado y futuro, para generar una mejor gestión del recurso humano dentro de la institución, basándose en el historial de trabajo y poder generar una proyección en el desempeño.

Los trabajadores deben recibir retroalimentación de acuerdo con su desempeño, a su vez, los jefes deberán decidir las acciones por tomar. Este programa de capacitación debe ser aprobado por la alta gerencia, contar con objetivos claramente definidos, factores específicos por evaluar, facilitar la interpretación y asignar funciones y responsabilidades dentro de la ejecución del programa.

5.4.1. Evaluación del personal

Se utilizará para apreciar el desempeño potencial del trabajador en su área de trabajo, a partir de estimular, su excelencia y cualidades. Este proceso debe ser continuo, para identificar deficiencias y actuar en favor de la integración del trabajador en la organización o al cargo que ocupa en la institución.

La evaluación del desempeño humano, se atribuirá a una comisión de evaluación del rendimiento, la cual estará conformada por un supervisor directo, quien será el propio jefe, encargado de proporcionar información a la comisión evaluadora del desempeño, acerca de las fortalezas y debilidades de los trabajadores a su cargo.

La comisión de evaluación del desempeño intentará los siguientes objetivos:

- Adecuación del trabajador a su trabajo
- Capacitaciones
- Incentivos salariales debidos a un alto desempeño
- Desarrollo de los empleados
- Estimular la productividad
- Aumentar las oportunidades de crecimiento dentro de la empresa
- Retroalimentación de información

5.5. Análisis costo beneficio

Esta técnica debe utilizarse para evaluar el proyecto y tomar decisiones que provean la mejor manera de conseguir beneficios manteniendo los ahorros. Con esta herramienta se podrá identificar, cuantificar y valorar los beneficios y costos sociales que tendrá el proyecto para el área en la que será desarrollado durante el periodo de tiempo que se establezca.

Mediante esta herramienta se podrá:

- Determinar la conveniencia para la región y la institución al momento de la ejecución del proyecto.
- Recomendar la ejecución del proyecto según su capacidad para retornar la inversión y del beneficio social que produce.
- Visualizar y maximizar los beneficios, a partir de la comparación entre alternativas de proyecto.

5.6. Auditorías

La auditoría energética en el sistema de generación de vapor consiste en el análisis de la situación para determinar la forma en la que se ha estado utilizando la energía. Las inspecciones establecen los requerimientos para:

- Certificación del fabricante
- Garantía de calidad
- Diseño de máquinas
- Materiales utilizados en la fabricación de equipos
- Manufactura de piezas
- Ensamblado
- Ensayos
- Verificación de diseño
- Aprobación de soldadura
- Inspección de instalaciones
- Certificación de calidad ISO 9001

5.6.1. Internas

Deberá ser realizada por el departamento técnico del hospital de forma semanal o mensual para identificar no conformidades y elegir acciones que permitan alcanzar los objetivos propuestos para cada función.

5.6.2. Externas

Deberá realizarse con la participación de técnicos y expertos externos, fabricantes e incluso el Ministerio de Energía y Minas, quien está a cargo de la regulación de funcionamiento de este tipo de sistemas.

CONCLUSIONES

1. Al definir las condiciones de operación en entrada y salida de la caldera, como las características del agua de alimentación y los requerimientos que directamente influyen en la calidad del vapor que produce, como presión, temperatura y consumo, se determina la capacidad de vapor que puede generar
2. Se definieron los procesos básicos realizados dentro de las áreas de central de equipos, lavandería y cocina del hospital, y se detallaron las características necesarias para el funcionamiento eficiente de los equipos. El sistema de generación y distribución de vapor será capaz de suplir la demanda de energía en cada área y hasta 25 % adicional en caso de incremento en el consumo por la cantidad de afiliados atendidos dentro del hospital.
3. El dimensionado de las tuberías se realizó en base a las condiciones de operación del sistema, los accesorios se seleccionaron según la distribución de las instalaciones del hospital para proveer la cantidad de vapor requerida con la calidad adecuada.
4. La caldera que producirá el vapor trabajará a 125 BHP a una presión máxima de 150 psi, con una capacidad teórica de producción de 4 313 libras de vapor por hora. Cada tubería de distribución tendrá una caída máxima de presión de 3 psi capaz de suministrar la presión de trabajo requerida a cada equipo.

5. El diseño de la red de distribución emplea accesorios que permiten el flujo de vapor necesario hacia cada una de las áreas del hospital, reduciendo las pérdidas de energía. La tubería seleccionada puede operar bajo las caídas de presión existentes en cada uno de los tramos de ducto, principal y ramales.
6. El impacto ambiental que producirá el sistema será medio-alto y se minimiza con la recuperación de retorno de condensado en las líneas de vapor, sin embargo, durante la purga se desecha agua que puede ser reutilizada y químicos que se utilizaron en la fase de tratamiento del agua para la caldera. Los gases de combustión contendrán partículas de dióxido de carbono y monóxido de carbono, debido a que el combustible no se quemará en su totalidad.
7. El mejoramiento continuo se logrará a medida que se sigan los parámetros óptimos que fueron definidos para la gestión del sistema de generación, capacitando, evaluando e incentivando a los trabajadores para mejorar sus procesos de manera constante.
8. La preservación de la vida útil de la caldera y la reducción de los costos de mantenimiento del sistema, se reducirán considerablemente mejorando constantemente el tratamiento del agua de alimentación, reduciendo la cantidad de incrustaciones en la red de distribución.
9. Con un programa de seguridad y salud ocupacional, se reducirán las lesiones del personal y se mantendrá el orden y la limpieza en las estaciones de trabajo, conservando el ambiente de trabajo requerido para cada área.

10. Controlar que los operarios del área de mantenimiento tengan acceso a las tablas de parámetros de operación generales de la caldera, autoclaves, lavadoras, secadoras, planchadoras y marmitas, con el objeto que puedan detectar cambios significativos en dichos parámetros, mientras efectúan las rutinas de mantenimiento y puedan ser capaces de realizar las acciones necesarias para prevenir o solucionar problemas.

RECOMENDACIONES

1. El hospital del IGSS puede adquirir equipos y accesorios de diferentes marcas y proveedores; sin embargo, se debe verificar que estos equipos cumplan con las especificaciones seleccionadas en este estudio, para que se ajusten a los cálculos y tengan un funcionamiento eficiente.
2. Crear un comité bipartito de capacitación de operadores y supervisores para la gestión de un plan de mantenimiento para equipos que proporcione confiabilidad y que prolongue la vida útil de los componentes; debe existir reingeniería constante de estas actividades para el mejoramiento continuo del departamento de mantenimiento.
3. Para la ampliación del sistema de distribución se debe realizar un nuevo estudio en donde se considere la caída de presión adicional debida a los nuevos equipos y definir si la caldera es capaz de suplir la nueva demanda de vapor, así como definir las especificaciones del nuevo tramo de tubería instalado.
4. Se deben utilizar accesorios adecuados para cada aplicación, ya que serán eficientes para cumplir con la función para la que fueron diseñados. No se deben modificar accesorios para adaptar su uso a una determinada aplicación, el costo por uso de accesorios inadecuados es mayor que invertir en nuevos accesorios, además de representar condiciones inseguras.

5. Ampliar la cartera de proveedores y negociar constantemente con ellos precios y tiempos de entrega, para contar con un inventario de piezas de recambio que evite paros de equipo durante periodos prolongados de tiempo, debidos a fallas en el sistema.
6. Realizar mediciones periódicas de monóxido y dióxido de carbono para conocer el nivel de contaminación, también se debe medir la temperatura de salida de los gases de combustión para conocer la eficiencia del proceso. Se sugiere reutilizar el condensado evacuado como parte del agua de alimentación, para aprovechar la temperatura y reducir la cantidad de componentes químicos utilizados.
7. Capacitar al personal de mantenimiento, para que conozca las metodologías con las que debe trabajar para alcanzar un nivel alto de eficiencia en los procesos del departamento.
8. Cuantificar económicamente la inversión en nuevos métodos de tratamiento de agua que se ajusten a las necesidades del hospital, cuantificando energética y económicamente el volumen de purgas y considerando el coste medioambiental implícito en el agua desechada.
9. Diseñar y actualizar constantemente un manual de seguridad y salud ocupacional que proteja la salud de las trabajadoras para prevenir lesiones y enfermedades relacionadas a cada actividad laboral.
10. Definir técnicas y herramientas que faciliten la toma de decisiones al personal, a fin de reforzar las habilidades de los trabajadores y mejorar el desempeño del sistema de generación y distribución de vapor.

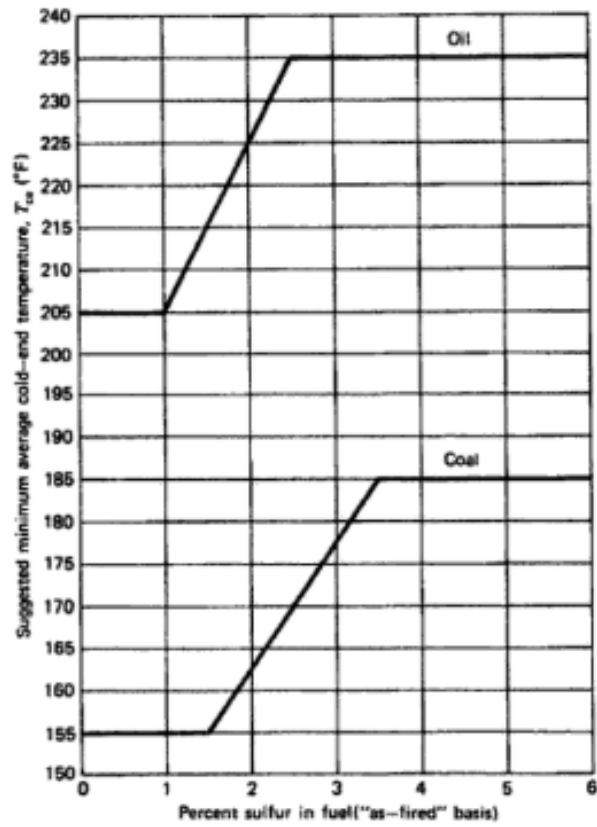
BIBLIOGRAFÍA

1. BREALEY, Richard; FRANKLN, Allen; STEWART, Myers. *Principios de finanzas corporativas*. 11° Edición. España: McGraw-Hill, 2015. 215 p.
2. CENGEL, Yunus; Boles, Michael. *Termodinámica*. 2° Edición. México: McGraw-Hill, 1996. 421 p.
3. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. 2° Edición. México: McGraw-Hill, 1998. 300 p.
4. GARCÍA FERRER, Carlos Alberto. *Vapor de agua: teoría y aplicaciones*. México: Limusa, 1998. 140 p.
5. KOHAN, Anthony. *Manual de calderas*. Madrid: McGraw-Hill, 2006. 740p.
6. MESNY, M. *Calderas de vapor, descripción, teoría, manejo y mantenimiento*. 2° Edición. Argentina: Marymar, 1977. 277 p.
7. MORENO, Eduardo. *Recopilación de detalles típicos para instalaciones industriales de vapor*. Caracas, 1998. 342 p.
8. RENDER, Barry; STAIR, Ralph; HANNA, Michael. *Métodos cuantitativos para los negocios*. 9° Edición. México: Pearson Prentice Hall, 2006. 748 p.

9. SEVERNS, William; DEGLER, Howard; MILES, John. *Energía mediante el vapor de agua, el aire o gas*. Barcelona: Reverté, 2007. 500 p.
10. SHIELD, Carl. *Calderas: tipos, características y sus funciones*. México: Continental, 1998. 237 p.

ANEXOS

Anexo 1. Guía para seleccionar precalentadores



Fuente: <http://www.chromalox.com/catalog/resources/technical-information/Heat-Loss-Calculations-and-Heater-Selection-Watt-Density-sp.pdf>. Consulta: 1 de julio de 2018.

Anexo 2. Factor de evaporación

FACTOR DE EVAPORACION

Factor de evaporación es la relación que existe entre la evaporación nominal, desde y a 100°C (desde y a 212°F) y la evaporación real bajo las condiciones efectivas de trabajo de la caldera.

$$\text{Factor de Evaporación} = \frac{\text{Evaporación Nominal}}{\text{Evaporación Real}}$$

Un caballo caldera según A.S.M.E. es la evaporación de 15.65 Kg/hr. (34.5 Lbs/hr) partiendo de agua a 100°C (212°F) hasta vapor de 100°C (212°F).

Temperatura del agua de alimentación		Presión Kg/cm. ² Lbs/pulg. ²														
		0.35	0.70	1.41	3.52	4.92	6.33	7.03	7.73	9.14	10.5	12.0	13.4	14.1	15.8	17.6
°C	°F	5	10	20	50	70	90	100	110	130	150	170	190	200	225	250
0.0	32	1.19	1.19	1.20	1.214	1.219	1.223	1.225	1.226	1.229	1.231	1.233	1.235	1.236	1.237	1.239
4.4	40	1.18	1.18	1.19	1.206	1.211	1.215	1.217	1.218	1.221	1.223	1.225	1.227	1.227	1.229	1.231
10.0	50	1.17	1.17	1.18	1.196	1.201	1.205	1.206	1.208	1.211	1.213	1.215	1.216	1.217	1.219	1.220
15.6	60	1.16	1.16	1.17	1.185	1.190	1.194	1.196	1.198	1.200	1.202	1.204	1.206	1.207	1.209	1.210
21.1	70	1.15	1.15	1.16	1.175	1.180	1.184	1.186	1.187	1.190	1.192	1.194	1.196	1.196	1.198	1.200
26.7	80	1.14	1.14	1.15	1.162	1.170	1.174	1.176	1.177	1.180	1.182	1.184	1.185	1.186	1.188	1.189
32.2	90	1.13	1.13	1.14	1.154	1.160	1.164	1.165	1.167	1.170	1.172	1.173	1.175	1.176	1.178	1.179
37.8	100	1.12	1.12	1.13	1.144	1.149	1.153	1.155	1.156	1.159	1.161	1.163	1.165	1.166	1.167	1.169
43	110	1.11	1.11	1.12	1.134	1.139	1.143	1.145	1.146	1.149	1.151	1.153	1.155	1.155	1.157	1.159
49	120	1.10	1.10	1.11	1.124	1.129	1.133	1.134	1.136	1.139	1.141	1.143	1.144	1.145	1.147	1.148
54	130	1.09	1.09	1.10	1.113	1.118	1.123	1.124	1.126	1.128	1.130	1.132	1.134	1.135	1.137	1.138
60	140	1.08	1.08	1.09	1.103	1.108	1.112	1.114	1.115	1.118	1.120	1.122	1.124	1.125	1.126	1.128
66	150	1.07	1.08	1.08	1.093	1.098	1.102	1.104	1.105	1.108	1.110	1.112	1.114	1.114	1.116	1.118
71	160	1.06	1.07	1.07	1.082	1.088	1.092	1.093	1.095	1.097	1.100	1.102	1.103	1.104	1.106	1.107
77	170	1.05	1.05	1.06	1.072	1.077	1.081	1.083	1.084	1.087	1.089	1.091	1.093	1.094	1.095	1.097
82	180	1.04	1.04	1.05	1.062	1.067	1.071	1.073	1.074	1.077	1.079	1.081	1.083	1.083	1.085	1.087
88	190	1.03	1.03	1.04	1.052	1.057	1.061	1.062	1.064	1.066	1.069	1.071	1.072	1.073	1.075	1.076
93	200	1.02	1.02	1.03	1.041	1.047	1.050	1.052	1.053	1.056	1.058	1.060	1.062	1.063	1.064	1.066
99	210	1.01	1.01	1.02	1.031	1.036	1.040	1.042	1.043	1.046	1.048	1.050	1.052	1.052	1.054	1.056

Fuente: WARK, Kenneth. *Termodinámica. Tablas y figuras complementarias* p. 870.

Anexo 3. Longitud equivalente de tubería añadir accesorios – Tubo cédula 40

Tamaño de Tubería (in)	Longitud en Metros a Añadir				
	Codo Estándar	"T" con Salida Lateral	Válvula de Compuerta*	Válvula de Globo*	Válvula de Angulo*
1/2	0.5	0.9	0.1	5.4	2.4
3/4	0.6	1.3	0.2	7.1	3.1
1	0.8	1.6	0.2	9.1	4.0
1 1/4	1.1	2.1	0.3	11.9	5.3
1 1/2	1.2	2.5	0.3	13.9	6.1
2	1.6	3.2	0.4	17.9	7.9
2 1/2	1.9	3.8	0.5	21.3	9.4
3	2.3	4.7	0.6	26.5	11.7
3 1/2	2.7	5.4	0.7	30.6	13.5
4	3.1	6.1	0.8	34.8	15.3
5	3.8	7.7	1.0	43.6	19.2
6	4.6	9.2	1.2	52.4	23.1
8	6.1	12.2	1.6	68.9	30.4
10	7.6	15.3	2.0	86.5	38.2
12	9.1	18.2	2.4	103.1	45.5

* Válvula completamente abierta

Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

. Consulta: 8 de julio de 2018.

Anexo 4. Capacidad de tuberías de vapor a 7 bar – Tubo cédula 40

Tamaño de Tubería (in)	Caída de Presión, Pa/m				
	120	180	240	450	1200
1/2	10	12	4	20	32
3/4	24	29	33	45	75
1	47	56	66	91	150
1 1/4	103	127	146	200	324
1 1/2	160	197	226	310	508
2	324	400	461	633	1 030
2 1/2	536	658	762	1 038	1 697
3	983	1 204	1 392	1 903	3 108
3 1/2	1 467	1 801	2 078	2 845	4 640
4	2 078	2 548	2 943	4 024	6 563
5	3 841	4 711	5 444	7 442	12 148
6	6 309	7 734	8 942	12 216	19 936
8	13 131	16 102	18 608	25 432	41 503
10	23 962	29 383	33 957	46 385	75 737
12	38 461	47 154	54 488	74 470	121 528

Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

Consulta: 8 de julio de 2018.

Anexo 5. Condensación en tuberías aisladas que llevan vapor saturado en aire sin mover a 21°C.

Tamaño de Tubo (in)	Presión, bar(g)								
	1	2	4	8	12	16	32	40	60
	Kilos de Condensado por Hora por Metro								
0.5	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.17	0.19	0.25
0.75	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.21	0.23	0.30
1	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.25	0.29	0.37
1.25	0.08	0.09	0.12	0.16	0.19	0.22	0.31	0.35	0.45
1.5	0.09	0.11	0.13	0.18	0.21	0.24	0.35	0.40	0.51
2	0.11	0.13	0.16	0.22	0.26	0.30	0.43	0.48	0.63
2.5	0.13	0.15	0.19	0.26	0.31	0.35	0.50	0.57	0.75
3	0.15	0.18	0.23	0.30	0.37	0.42	0.60	0.69	0.89
3.5	0.17	0.20	0.26	0.34	0.41	0.47	0.68	0.78	1.01
4	0.19	0.23	0.29	0.38	0.46	0.52	0.76	0.86	1.12
5	0.23	0.27	0.35	0.46	0.56	0.64	0.92	1.05	1.36
6	0.27	0.32	0.41	0.54	0.65	0.75	1.08	1.23	1.60
8	0.34	0.41	0.52	0.69	0.83	0.95	1.38	1.57	2.05
10	0.41	0.50	0.63	0.84	1.02	1.16	1.69	1.93	2.51
12	0.48	0.58	0.74	0.98	1.19	1.36	1.98	2.26	2.95
14	0.52	0.63	0.81	1.07	1.30	1.48	2.16	2.46	3.22
16	0.59	0.72	0.91	1.21	1.47	1.68	2.44	2.79	3.65
18	0.66	0.80	1.02	1.35	1.64	1.87	2.73	3.12	4.08
20	0.72	0.88	1.12	1.49	1.80	2.07	3.01	3.44	4.50
24	1.04	1.25	1.59	2.10	2.52	2.88	4.14	4.72	6.12

Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

Consulta: 19 de julio de 2018.

Anexo 6. La carga al precalentar desde 21°C, tubería cédula 40

Tamaño de Tubo (in)	Presión del Vapor, bar(g)						
	0.1	1	2	4	8	12	16
	Kilos de Agua por Metro						
1	0.044	0.054	0.062	0.075	0.091	0.104	0.114
1.25	0.059	0.073	0.084	0.100	0.123	0.140	0.154
1.5	0.070	0.087	0.101	0.120	0.147	0.167	0.184
2	0.094	0.117	0.135	0.161	0.197	0.224	0.247
2.5	0.149	0.186	0.214	0.255	0.313	0.356	0.392
3	0.195	0.243	0.280	0.334	0.409	0.465	0.513
3.5	0.235	0.292	0.337	0.402	0.492	0.560	0.617
4	0.278	0.346	0.399	0.476	0.583	0.663	0.731
5	0.377	0.469	0.540	0.645	0.789	0.899	0.990
6	0.489	0.608	0.701	0.836	1.02	1.17	1.28
8	0.736	0.915	1.06	1.26	1.54	1.75	1.93
10	1.04	1.30	1.50	1.78	2.19	2.49	2.74
12	1.38	1.72	1.96	2.36	2.89	3.29	3.63
14	1.62	2.02	2.33	2.78	3.40	3.87	4.27
16	2.14	2.66	3.07	3.66	4.48	5.10	5.62
18	2.71	3.37	3.88	4.63	5.67	6.45	7.11
20	3.17	3.94	4.55	5.42	6.64	7.56	8.33
24	4.41	5.48	6.32	7.54	9.23	10.51	11.58

Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>

Consulta: 14 de julio de 2018.

Anexo 7. Capacidad de trampas de vapor

Presión Diferencial (bar)	Tamaño del Orificio	Modelos 800, 880	Tamaño del Orificio	Modelos 811, 881, 211	Tamaño del Orificio	Modelos 812, 882, 212	Tamaño del Orificio	Modelos 813, 883, 213	Tamaño del Orificio	Modelos 814, 214	Tamaño del Orificio	Modelos 815, 215	Tamaño del Orificio	Modelos 816, 216
0.02	↑	63	↑	87	↑	159	↑	432	↑	636	↑	932	↑	1 841
0.03	↑	91	↑	136	↑	259	↑	641	↑	982	↑	1 409	↑	2 836
0.05	↑	109	↑	180	↑	336	↑	735	↑	1 182	↑	1 700	↑	3 414
0.07	↑	123	↑	205	↑	386	↑	855	↑	1 318	↑	1 891	↑	3 818
0.14	↑	155	↑	268	↑	518	↑	1 045	↑	1 682	↑	2 455	↑	4 864
0.20	↑	177	↑	309	↑	600	↑	1 182	↑	1 886	↑	2 818	↑	5 455
0.30	↑	193	↑	341	↑	673	↑	1 264	↑	2 045	↑	3 091	↑	5 909
0.35	↑	205	↑	377	↑	727	↑	1 318	↑	2 182	↑	3 455	↑	6 591
0.70	↑	255	↑	432	↑	864	↑	1 591	↑	2 636	↑	4 091	↑	7 864
1.00	↑	291	1/4	482	1/2	955	1/2	1 773	3/4	2 955	3/4	4 545	1 1/2	8 727
1.40	1/4	314	↑	400	↑	818	↑	1 591	↑	2 727	↑	3 864	↑	8 409
1.70	↑	209	↑	432	↑	864	↑	1 727	↑	2 955	↑	4 182	↑	9 091
2.00	↑	227	3/8	455	1/2	932	3/4	1 818	1/2	3 091	3/4	4 455	↑	8 182
2.75	↑	250	↑	350	↑	773	↑	1 727	↑	2 636	↑	3 773	1/4	9 091
3.50	↑	264	↑	382	↑	864	↑	1 864	↑	2 864	↑	4 091	↑	8 273
4.00	↑	289	↑	409	↑	909	3/4	2 000	3/4	3 091	3/4	4 318	3/4	9 000
5.00	↑	300	1/2	432	3/4	1 000	↑	1 727	↑	2 727	↑	4 182	↑	8 318
5.50	1/4	314	↑	364	↑	750	3/4	1 818	1/2	2 909	↑	4 409	3/4	8 636
7.00	↑	291	↑	391	↑	818	↑	1 636	↑	2 818	3/4	4 727	↑	8 182
8.50	3/8	309	1/2	432	3/4	909	1/4	1 773	3/4	3 045	↑	4 955	1/2	9 091
9.00	↑	250	↑	355	↑	641	↑	1 500	↑	2 500	↑	5 000	↑	8 136
10.50	#38	259	↑	368	↑	682	↑	1 591	↑	2 591	↑	4 318	↑	8 409
12.50	—	—	↑	386	↑	709	3/4	1 682	3/4	2 727	↑	4 545	3/4	9 091
14.00	—	—	3/4	391	1/2	727	↑	1 455	↑	2 409	↑	4 182	↑	7 955
15.50	—	—	↑	332	↑	582	↑	1 545	↑	2 500	3/4	4 455	↑	8 409
17.00	—	—	#38	345	3/4	591	3/4	1 591	1/4	2 591	1/4	3 182	3/4	8 636

Fuente: Trampas de vapor.

<https://www.jinsa.com.mx/FichaTecnica/ARMSTRONG/108spanish.pdf>. Consulta: 20 de julio de 2018.

Anexo 8. Aislante para tubería

Minimum Pipe Insulation (SI)

Fluid Design Operating Temperature Range (°C)	Insulation Conductivity		Nominal Pipe Diameter					
	Conductivity Range (W/m·°C)	Mean Rating Temperature (°C)	Runouts ^a up to 50 mm (mm)	25 mm and less (mm)	32 mm to 50 mm (mm)	65 mm to 100 mm (mm)	125 mm & 150 mm (mm)	200 mm & up (mm)
Heating Systems (Steam, Steam Condensate and Hot Water)								
Above 177	0.046-0.049	121	38	64	64	76	89	89
122-177	0.042-0.045	93	38	51	64	64	89	89
94-121	0.039-0.043	66	25	38	38	51	51	89
61-93	0.036-0.042	52	13	38	38	38	38	38
41-60	0.035-0.040	38	13	25	25	25	38	38
Domestic and Service Hot Water Systems ^b								
41 and Greater	0.035-0.040	38	13	25	25	38	38	38
Cooling Systems (Chilled Water, Brine and Refrigerant) ^c								
4-13	0.033-0.039	24	13	13	19	25	25	25
Below 4	0.033-0.039	24	25	25	38	38	38	38

^a Runouts to individual terminal units not exceeding 12 ft. (3.66 m) in length.

^b Applies to recirculating sections of service or domestic hot water systems and first 8 ft. (2.44 m) from storage tank for non-recirculating systems.

^c The required minimum thicknesses do not consider water vapor transmission and condensation. Additional insulation, vapor retarders, or both, may be required to limit water vapor transmission and condensation.

Fuente: Equipos para trazas de vapor.

<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/Spanish326.pdf>.

Consultado: 20 de julio de 2018.

