



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

**REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN  
EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**Angel Saely González Alvarado**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN  
EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ANGEL SAELY GONZÁLEZ ALVARADO**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE 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 Martinez
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. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	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:

### **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de mayo de 2018.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

**Angel Saely González Alvarado**





Guatemala, 08 de mayo de 2019  
REF.EPS.DOC.394.05.19.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Angel Saely González Alvarado** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201222690, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EDSZ/ra





Guatemala, 08 de mayo de 2019  
REF.EPS.D.172.05.19

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Angel Saely González Alvarado** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH/ra







**USAC**  
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.158.2019

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS** del estudiante **Angel Saely González Alvarado, CUI 2283937870101, Reg. Académico No. 201222690** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Revisor  
Escuela de Ingeniería Mecánica



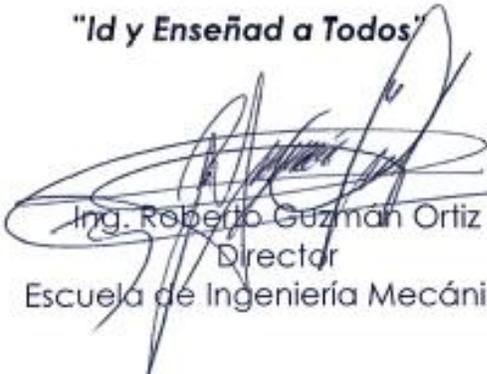
Guatemala, mayo de 2019

/aej



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS** desarrollado por el estudiante **Angel Saely González Alvarado**, CUI **2283937870101** y Reg. Académico No. **201222690** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre 2019

/aej



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.495.2019

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, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO DE LA RED DE RETORNO DE CONDENSADO DE VAPOR, EN EL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por el estudiante universitario: **Angel Saely González Alvarado** 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, Octubre de 2019

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y la fortaleza de seguir siempre adelante.
- Mis padres** Santiago González y Elida Alvarado, por el amor, esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado.
- Mis hermanos** Santi, Lestid y Sofia González, gracias por su apoyo, Dios los bendiga.
- Mi familia** A mis tíos y primos por sus consejos.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme la formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos necesarios para forjar mi vida profesional.
<b>Los catedráticos</b>	Gracias por compartir sus conocimientos.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Francisco Burgos, Carlos Xajil, Dennis Ulin, Luis Guerra, Brenner Estrada, Christian Argueta, Daniel Noriega, David Franco, Frisly Manuel, Isaias Estrada, Juan Francisco, Lester Guillermo, Oliver Gómez, Alejandro Cojulun y Steve Santos. Gracias por su apoyo incondicional, les deseo lo mejor hoy y siempre.
<b>Mi asesor</b>	Por su amabilidad y la oportunidad de brindarme su tiempo y su conocimiento en la realización de este proyecto.
<b>Ing. Doroteo Tzul</b>	Por su valioso apoyo y conocimiento brindado, Dios le bendiga.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Hospital General San Juan de Dios.....	1
1.1.1. Historia del Hospital General San Juan de Dios .....	1
1.1.2. Visión.....	2
1.1.3. Misión .....	2
1.1.4. Capacidad del hospital .....	2
1.2. Uso del vapor como flujo energético .....	3
1.2.1. Unidades de servicio que utilizan vapor en el hospital .....	4
1.2.1.1. Servicio de lavandería .....	5
1.2.1.2. Servicio de cocina.....	5
1.2.1.3. Central de equipos.....	6
1.2.1.4. Calentamiento del agua.....	7
1.2.2. Estados del vapor .....	7
1.3. Distribución de vapor.....	8
1.3.1. Elementos de una red de distribución de vapor.....	10
1.3.1.1. Tipo de tubería.....	11
1.3.1.2. Accesorios de tubería .....	11

1.3.1.3.	Trampas de vapor .....	12
1.3.1.3.1.	Trampa de vapor tipo cubeta invertida.....	14
1.3.1.3.2.	Trampa de vapor termodinámicas.....	15
1.3.1.3.3.	Trampa de flotador y termostática.....	16
1.3.1.3.4.	Trampa termostática tipo bimetálica .....	17
1.3.1.4.	Tipos de juntas o uniones.....	18
1.3.1.4.1.	Uniones roscadas .....	18
1.3.1.4.2.	Uniones soldadas.....	19
1.3.1.4.3.	Uniones por bridas .....	19
1.3.1.4.4.	Bridas deslizantes .....	20
1.3.1.5.	Material aislante .....	21
1.3.1.6.	Válvulas.....	21
1.3.1.6.1.	Válvulas de compuerta .....	21
1.3.1.6.2.	Válvulas de globo.....	22
1.3.1.6.3.	Válvulas de bola.....	23
1.3.1.6.4.	Válvulas de retención ....	24
1.3.1.6.5.	Válvulas reguladoras de presión .....	24
1.3.1.7.	Filtros.....	25
1.4.	Condensado de vapor .....	26
1.4.1.	Recuperación de condensado.....	27
1.5.	Conceptos para el diseño de redes de vapor .....	28
1.5.1.	Presión .....	29
1.5.2.	Derivaciones.....	30

1.5.3.	Piernas colectoras .....	31
1.5.4.	Vapor <i>flash</i> .....	34
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN .....	37
2.1.	Servicio de lavandería .....	37
2.1.1.	Descripción de equipos servicio de lavandería.....	37
2.1.2.	Gastos generados por el desperdicio del retorno de condensado de vapor en el servicio de lavandería.....	47
2.2.	Servicio de cocina .....	50
2.2.1.	Descripción de equipos servicio de cocina .....	50
2.2.2.	Situación actual área de cocina .....	53
2.2.3.	Gastos generados por el desperdicio de condensado de vapor en el servicio de cocina .....	55
2.3.	Central de equipos .....	57
2.3.1.	Descripción de equipos .....	57
2.3.2.	Gastos generados por el desperdicio de condensado .....	61
2.4.	Estudio de costos generados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensado del Hospital General San Juan de Dios.....	64
2.5.	Problemas generados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensado.....	65
2.6.	Problemas causados por un mal tratamiento de agua de la caldera.....	69
2.7.	Ahorro de agua en el Hospital General San Juan de Dios .....	72
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL .....	73
3.1.	Recuperación de condensado, servicio de lavandería .....	73

3.2.	Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, servicio de cocina.....	74
3.3.	Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, central de equipos y farmacia interna.....	78
3.4.	Resumen de gastos generados por el desperdicio de condensado y estimación de costo para su rediseño.....	81
3.5.	Resumen de costos estimados de los materiales necesarios para los rediseños de la red de condensado. ....	81
3.6.	Mejoramiento de la calidad del agua que es suministrada a la caldera.....	82
4.	FASE DOCENCIA.....	83
4.1.	Tratamiento de agua de las calderas .....	83
4.2.	Utilización del <i>test-kit</i> Taylor de análisis de calidad de agua....	90
	CONCLUSIONES.....	99
	RECOMENDACIONES .....	101
	BIBLIOGRAFÍA.....	103
	ANEXO.....	105

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Circuito de vapor típico.....	10
2.	Trampa de vapor cubeta invertida.....	15
3.	Trampa de vapor termodinámica .....	16
4.	Trampa de flotador y termostáticas.....	17
5.	Trampa termostática .....	18
6.	Rosca cónica.....	19
7.	Brida soldada deslizable .....	20
8.	Sección de un filtro.....	26
9.	Instalación de una derivación.....	31
10.	Instalación de una pierna colectora.....	32
11.	Erosión por presencia de condensado .....	33
12.	Secadora <i>Poensgen Sulzmann</i> .....	38
13.	Secadora de ropa Baldor super <i>Drynomic</i> .....	39
14.	Secadora de ropa <i>Huebsch</i> .....	40
15.	Secadoras de ropa <i>Warning</i> .....	42
16.	Secadoras de ropa ADC .....	43
17.	Lavadoras de ropa <i>Washex Warning</i> .....	44
18.	Lavadoras de ropa <i>Renzacci</i> .....	45
19.	Lavadora de ropa <i>Braun</i> .....	46
20.	Marmitas área de cocina .....	52
21.	Distribución de las marmitas área de cocina.....	53
22.	Diseño actual de la red de vapor área de cocina .....	54
23.	Autoclaves centrales de equipos.....	58

24.	Autoclave farmacia interna .....	59
25.	Autoclave lactarios.....	60
26.	Caldera Kewanee boiler.....	70
27.	Tubos de humo Caldera Kewanee Boiler .....	71
28.	Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, servicio de cocina .....	75
29.	Rediseño de la red de distribución de vapor del área de cocina.....	76
30.	Rediseño del túnel .....	79
31.	Probeta a 25ml.....	91
32.	Indicador de dureza R-0619B. ....	92
33.	Indicador de dureza R-060B .....	92
34.	Indicador de dureza R-0683 .....	93
35.	Probeta a 25 ml.....	94
36.	Indicador fenolftaleína R-0638G .....	94
37.	Indicador R-0687G ácido sulfúrico 12N .....	95
38.	Indicador de alcalinidad total R-0645.....	96
39.	Indicador R-0687G ácido sulfúrico.....	96
40.	Probeta a 25 ml.....	97
41.	Papel pH .....	98
42.	Escala de colores medidor de pH .....	98

## TABLAS

I.	Información técnica secadora <i>Poensgen Sulzmann</i> .....	38
II.	Información técnica secadora de ropa Baldor super <i>Drynomic</i> .....	39
III.	Información técnica secadora de ropa <i>Huebsch</i> .....	40
IV.	Información técnica secadora de ropa <i>Warning</i> .....	41
V.	Información técnica secadoras de ropa ADC.....	43
VI.	Información técnica lavadora de ropa <i>Washex Warning</i> .....	44

VII.	Información técnica lavadoras de ropa <i>Renzacci</i> .....	45
VIII.	Información técnica lavadora de ropa <i>Braun</i> .....	46
IX.	Resumen demanda de vapor (servicio de lavandería).....	47
X.	Información técnica marmitas .....	51
XI.	Información técnica marmitas tipo fija .....	51
XII.	Resumen demanda de vapor servicio de cocina.....	52
XIII.	Descripción de las marmitas y trampas instaladas .....	54
XIV.	Información técnica autoclaves, central de equipos.....	57
XV.	Información técnica autoclave de farmacia interna .....	59
XVI.	Información técnica autoclave área de lactarios .....	60
XVII.	Resumen (central de equipos, área de farmacia interna y lactarios) ...	61
XVIII.	Condensado formado a causa de las perdidas por radiación en la red de central de equipos.....	62
XIX.	Costos generados por el desperdicio de condensado .....	65
XX.	Resultados obtenidos en los análisis realizados en las distintas fechas al sistema de tratamiento de agua de las calderas del Hospital General San Juan de Dios .....	66
XXI.	Promedio de los análisis químicos realizados al agua de las calderas.....	67
XXII.	Cantidad de agua que será reutilizada por las calderas.....	72
XXIII.	Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño de la red de retorno de condensado de las marmitas en el área de calderas.....	75
XXIV.	Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño de la red de distribución de vapor del área de cocina.....	77
XXV.	Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño del túnel.....	80
XXVI.	Resumen de gastos generados por el desperdicio de condensado.....	81

XXVII.	Resumen, costo estimado para la recuperación de condensado de vapor.....	82
XXVIII.	Parámetros recomendados agua de alimentación para calderas .....	86

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Bhp</b>	Caballos de vapor
<b>Q</b>	Caudal
<b>°C</b>	Celsius
<b>cm</b>	Centímetros
<b>hf</b>	Entalpia agua saturada
<b>gal</b>	Galones
<b>gal.diesel/h</b>	Galones de diesel por hora
<b>gpg</b>	Granos por galón
<b>h</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo fuerza sobre centímetro cuadrado
<b>kg/h</b>	Kilogramo hora
<b>lb</b>	Libra
<b>lb.m/h</b>	Libras masa por hora
<b>l/min</b>	Litros por minuto
<b>m</b>	Metro
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>plg</b>	Pulgadas
<b>BTU</b>	Unidad de energía
<b>bar</b>	Unidad de medida de presión



## GLOSARIO

<b>ADN</b>	Ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos y algunos virus.
<b>Autoclave</b>	Aparato para esterilizar por vapor que consiste en un recipiente cilíndrico, de paredes resistentes metálicas, y con cierre hermético.
<b>Bimetal</b>	Pieza bimetálica que convierten un cambio de temperatura en un movimiento mecánico.
<b><i>Bypass</i></b>	Término en inglés que significa derivación o conexión de una vía alternativa a la línea principal de la red de aire comprimido para evitar bloqueos.
<b>Caída de presión</b>	Disminución de la presión de un fluido a lo largo del conducto por el que circula.
<b>Condensado</b>	Formación de gotas de agua contenida en el aire o gas, cuando reduce su temperatura.
<b>Corrosión</b>	Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

<b>Extrusión</b>	Proceso donde el material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.
<b>Marmita</b>	Recipiente metálico familia de las ollas utilizado para la cocción de alimentos.
<b>Monel</b>	Aleaciones comerciales con razones níquel-cobre de aproximadamente 2:1 de peso, es más duro que el cobre, extremadamente resistente a la corrosión.
<b>Purgar</b>	Sacar el agua u otro fluido en un circuito de un aparato o máquina para su buen funcionamiento.
<b>Revaporizado</b>	Vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.

## **RESUMEN**

Para la realización de este proyecto rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, en el Hospital General San Juan de Dios se realizó un estudio de costos generados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensados y por el mal estado de la misma. También se realizó un estudio que permite conocer el consumo real de vapor de cada equipo y al mismo tiempo conocer la cantidad de condensado que se tendrá que drenar de cada equipo.

En este proyecto, se realiza el rediseño de la red de retorno de condensado de vapor de los servicios de lavandería, cocina y central de equipos, dicho rediseño permitirá la reutilización de este condensado como agua de alimentación de las calderas, el cual tendrá como resultado la reducción de la cantidad de combustible utilizado por la caldera, mejoramiento de la calidad del agua de alimentación de las calderas, reducción de desperdicio de agua, reducción de los costos del tratamiento de agua de alimentación de las calderas e impacto positivo para la seguridad y el medio ambiente.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar el rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, en el Hospital General San Juan de Dios.

### **Específicos**

1. Realizar un estudio de los costos generados por el desperdicio de condensado y por el mal estado de la red de vapor.
2. Realizar el rediseño de la red de retorno de condensado de vapor del área de cocina, lavandería y central de equipos, en el Hospital General San Juan de Dios.
3. Capacitar al personal que trabaja en el área de calderas y al personal encargado del mantenimiento, acerca de la importancia del retorno de condensado y el funcionamiento de los distintos tipos de trampeos existentes en el hospital.



## **Planteamiento del problema**

### Antecedentes:

En el Hospital General San Juan de Dios siempre han existido problemas debido a la falta de mantenimiento, actualmente solo existe mantenimiento correctivo y los encargados de dicho mantenimiento son empresas subcontratadas las cuales en la mayoría de las ocasiones son empresas que no poseen el conocimiento ni el equipo adecuado para la realización de los distintos mantenimientos, lo que a provocando deterioros acelerados de los distintos equipos. Actualmente, se tiene programada la compra de 2 calderas nuevas, por lo que se requiere que los distintos problemas existentes en la red de vapor y tratamiento del agua se resuelvan profesionalmente.

### Justificación:

La cantidad de retorno de condensados hacia la caldera es de suma importancia ya que un buen retorno de condensado, siempre libres de cualquier tipo de contaminaciones permite trabajar en forma eficiente, con un menor consumo de agua suavizada, menor uso de tratamientos químicos, menor necesidad de energía (ya que los condensados regresan calientes), menor cantidad de combustible y mayor capacidad de evaporación por parte de la caldera.

### Formulación y delimitación del problema:

El problema principal que desencadena los distintos problemas que son: la mala calidad de agua que es suministrada a la caldera, mala calidad de vapor y los problemas presentes en las calderas, se debe a la falta de retorno de

condensado hacia el tanque de alimentación, lo que provoca que el suavizador de agua solo logre trabajar un día con agua suave, después de que regenera, y trabajando los demás días de la semana con agua dura, ya que no es capaz de reponer toda la cantidad que requiere la caldera, además del desperdicio de energía y químicos que son drenados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensado. Para la recuperación del condensado se realizará un rediseño de la red de retorno de condensado de los servicios de lavandería, cocina y autoclaves.

Alcances:

Con este trabajo de graduación se pretende ayudar al Hospital General San Juan de Dios, dando solución a los siguientes problemas: falta de retorno de condensado al tanque de alimentación de agua de las calderas, mala calidad de agua de alimentación de las calderas y la mala calidad de vapor que llega a los diferentes servicios. Para la realización de este trabajo de graduación se realizará un estudio detallado de la red de vapor y se realizará el rediseño de la red de retorno de condensado. La finalidad de realizar este trabajo es que en un futuro no muy lejano el hospital logre ejecutar los diferentes trabajos y mejoras que en el trabajo se expondrán.

## INTRODUCCIÓN

En el Hospital General San Juan de Dios el vapor es de suma importancia ya que este sirve para la esterilización de instrumentos quirúrgicos (autoclaves), para la elaboración de alimentos (marmitas), calentadores de agua y para el lavado y desinfección de la ropa utilizada por los pacientes (lavadoras y secadoras), Todos estos servicios dependen de un suministro de vapor constante y de buena calidad.

Actualmente, en el Hospital General San Juan de Dios cuenta con una gran cantidad de problemas, siendo la mayoría por falta de mantenimiento. Entre los problemas más graves se encuentran: falta de retorno de condensado en el tanque de alimentación de las calderas y mala calidad del agua que es suministrada a las calderas.

Con este proyecto rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, en el Hospital General San Juan de Dios, se busca la recuperación del condensado de vapor de los servicios de lavandería, cocina y autoclaves hacia el tanque de alimentación de agua de las calderas, actualmente, el condensado de estos servicios es descargado en los drenajes de agua pluvial.



# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Hospital General San Juan de Dios**

El Hospital General San Juan de Dios, es una institución no lucrativa que presta servicios médicos a la población guatemalteca y solo cuenta con el apoyo que el gobierno le otorga. Está constituido por los departamentos de medicina interna, cardiología, neurología, neumología, clínica de enfermedades infecciosas, endocrinología, dermatología, hemato-oncología, pediatría, anestesia, maternidad, neonatología, gineco-obstetricia, medicina nuclear, medicina física y rehabilitación, oftalmología, neurocirugía e ingeniería y mantenimiento. Los servicios más solicitados son consulta externa y emergencia.

### **1.1.1. Historia del Hospital General San Juan de Dios**

Está ubicado en la 1a. avenida 10-50 de la zona 1. Es un hospital público más grande y más importante del país. Fundado originalmente por la orden hospitalaria de San Juan de Dios en 1667 en la ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala durante la colonia española, se trasladó a la ciudad de Guatemala tras los destrozos provocados por los terremotos de Santa Marta en 1773. Ya en la nueva ciudad, estuvo localizado en el extremo oeste de la ciudad en donde sobrevivió los terremotos de 1917-1918 y el de 1976, hasta que fue trasladado a su moderna sede en 1981, construida por el gobierno del General Fernando Romeo Lucas García.

### **1.1.2. Visión**

Ser el hospital líder a nivel nacional, comprometido a brindar atención especializada e integral de servicios de salud, mediante un sistema certificado de gestión de calidad apoyado con personal calificado, tecnología moderna y pertinente, orientada en satisfacer las necesidades y expectativas de usuarias y usuarios.

### **1.1.3. Misión**

Somos un hospital general nacional, docente asistencial, de referencia y cobertura nacional, dependencia del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, responsable de brindar atención integral de salud, con calidez y calidad, mediante la promoción de la salud, prevención de enfermedades, recuperación y rehabilitación de usuarias y usuarios, contando con recurso humano calificado y tecnología moderna para el mejoramiento de la calidad de vida.

### **1.1.4. Capacidad del hospital**

En la actualidad, el hospital general tiene capacidad para 946 camas y 200 camillas. Cuenta con personal capacitado, clasificado de la siguiente forma: auxiliares de enfermería y enfermeras graduadas 1 300, médicos 500 y trabajadores administrativos y de otras áreas 1 200.

Debido a la cantidad de personas que se encuentran dentro del Hospital General San Juan de Dios es importante mantener en óptimas condiciones la red de distribución de vapor. De esta manera, los equipos trabajarán de manera

adecuada, sin desperdicios, atrasos e inconvenientes, tanto para el paciente, como para el personal que labora dentro de este recinto.

## **1.2. Uso del vapor como flujo energético**

El Hospital General San Juan de Dios cuenta con dos calderas marca: cleaver brooks y kewanee boiler, las dos calderas son pirotubulares tipo horizontal de 250 BHP cada una y una presión máxima de 150 psi, las cuales se van rotando para los respectivos mantenimientos. Estas calderas son las encargadas de producir vapor a partir de agua a la cual se le aumenta su entalpia a partir de combustible diesel, estas calderas trabajan de lunes a sábado un total de catorce horas diarias de 3:00 a 17:00 horas y los domingos de 3:00 a 15:00 horas.

El vapor de agua es un fluido térmico ampliamente utilizado en el hospital, la razón fundamental es la necesidad que se tiene de emplear fuentes de calor a muy diversos niveles de temperatura. Las características que convierten al vapor de agua en un buen fluido energético son las siguientes:

- Amplio rango de temperaturas de empleo
- Fácilmente transportable en tuberías
- Materia prima barata y de elevada disponibilidad
- Elevado calor de condensación
- Elevado calor específico
- Temperatura de condensación fácilmente regulable

El vapor es mayormente conocido por sus aplicaciones en calentamiento, desempeñando la función tanto como fuente directa e indirecta de calor.

- Calentamiento directo de vapor

El método de calentamiento directo de vapor se refiere al proceso en el cual el vapor está en contacto directo con el producto que está siendo calentado.

En un hospital, el método de calentamiento directo de vapor generalmente es usado para esterilización, lavado de ropa y otros procesos.

- Calentamiento indirecto de vapor

El calentamiento indirecto de vapor se refiere a los procesos en donde el vapor no entra en contacto directo con el producto a calentar. Es ampliamente utilizado en la industria ya que provee un calentamiento rápido y parejo. Este método generalmente utiliza un intercambiador de calor para calentar el producto.

La ventaja que ofrece este método sobre el calentamiento directo de vapor es que el vapor no tiene contacto con el producto. Por lo tanto, el vapor puede ser usado en una variedad de aplicaciones, tales como secado, esterilización, hervimiento de diferentes líquidos y en un gran rango de procesos como la preparación de alimentos, productos farmacéuticos, y muchos procesos más.

### **1.2.1. Unidades de servicio que utilizan vapor en el hospital**

Las unidades de servicio que utilizan vapor para su funcionamiento en el Hospital General San Juan de Dios son las siguientes.

### **1.2.1.1. Servicio de lavandería**

Esta unidad es la que tiene un mayor consumo de vapor ya que esta área es la encargada del lavado y desinfección de la ropa que es utilizada por los pacientes y personal de los diferentes servicios de hospitalización. Este servicio cuenta con 9 secadoras y 6 lavadoras con lo que se logra un lavado y secado de 9 000 lb de ropa al día.

- Requerimiento de vapor
  - Buena calidad de vapor seco para funcionar eficientemente.
  - Presión: presiones de 6 a 7 bares.

### **1.2.1.2. Servicio de cocina**

Esta unidad se encarga de abastecer con alimentación a pacientes y ha personal operativo del hospital, en esta unidad la fuente de energía para la cocción de los alimentos es el vapor de agua, el gas propano y electricidad, dándole mayor uso al vapor ya que este hospital cuenta con 10 marmitas, siendo el medio principal de cocción de alimentos.

- Requerimiento de vapor
  - Buena calidad de vapor seco para funcionar eficientemente.
  - Presión: presión de 2 bar.

### 1.2.1.3. Central de equipos

Esta unidad es la encargada de esterilizar equipos e instrumentos quirúrgicos, para su reutilización.

Para la esterilización de los equipos e instrumentos quirúrgicos esta unidad utiliza autoclaves, equipo utilizado para esterilizar por medio vapor con alta presión, que permite alcanzar temperaturas superiores a 100 °C por aumento del punto de ebullición del agua. El mecanismo de acción del vapor en estas condiciones produce fenómenos tales como, la ruptura de las cadenas de ADN, pérdida de la integridad de las membranas celulares, y fundamentalmente coagulación y desnaturalización proteica bacteriana y viral.

- Requerimientos de las autoclaves
  - Buena calidad de vapor seco para funcionar eficientemente.
  - Presión: presiones de 1,3 bar posibilitan temperaturas de 12 °C, y de 2,2 bar, temperaturas de 134 °C,.

Otra de las áreas donde se cuenta con una autoclave es el área de lactarios, esta es una unidad de apoyo hospitalario dependiente del servicio de nutrición, donde se preparan leches en polvo comerciales y el banco de leche humana (BLH) recolecta y almacena la leche de madres donantes o de aquellas que tienen hijos hospitalizados, en ambos escenarios son suministradas a neonatos y lactantes.

Esta autoclave es utilizada para el pasteurizado de leche, este método consiste en calentar la leche a temperaturas entre 62 y 64 °C y mantenerla a esta temperatura durante 30 minutos.

El objetivo fundamental de aplicar el proceso de pasteurización a la leche y derivados lácteos, es la destrucción de todos los microorganismos patógenos que puedan estar presentes en la leche cruda, evitando así cualquier riesgo de transmisión de enfermedades al consumidor. Además, mediante este procesamiento térmico se logra destruir también la casi totalidad de la flora asociada, prolongando así la vida útil del producto.

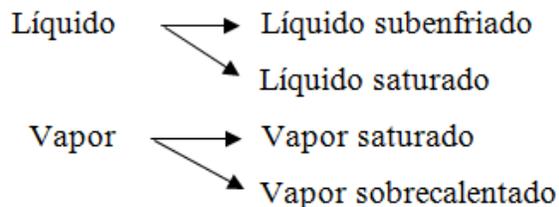
#### **1.2.1.4. Calentamiento del agua**

Esta unidad es la encargada de abastecer con agua caliente al hospital la cual será destinada para duchas y demás usos donde se requiera agua caliente, Esta unidad cuenta con 2 calentadores marca Ace Buehler Inc, los cuales funcionan con un intercambiador de calor siendo su fuente de energía el vapor.

#### **1.2.2. Estados del vapor**

Es muy importante conocer los diferentes estados que puede presentar el agua confinada en una red de distribución de vapor, así como las características que definen a cada estado.

Los estados básicos del vapor son:



El estado líquido se puede subdividir en dos situaciones; de esta manera cuando el líquido se encuentra por debajo del punto de ebullición se habla de líquido subenfriado y cuando se encuentra en el punto de ebullición se habla de líquido saturado.

El vapor puede subdividirse en dos situaciones, cuando el vapor está a la temperatura de ebullición se trata de vapor saturado y cuando se encuentra por encima del punto de ebullición se trata de vapor sobrecalentado. Además, en la situación de vapor saturado, con mezcla de vapor y agua en distintas proporciones por lo que un vapor saturado puede ser seco o húmedo con distintos grados de humedad que vienen definidos por un parámetro que se denomina título del vapor y que representa el porcentaje de fase vapor frente a la mezcla vapor-agua. La situación puntual existente en cada momento depende de las condiciones de presión y temperatura a las que esté sometido.

### **1.3. Distribución de vapor**

“El sistema de distribución de vapor es un enlace importante entre la fuente generadora del vapor y el usuario. La fuente generadora del vapor puede ser una caldera o una planta de cogeneración. Debe proporcionar vapor de buena calidad en las condiciones de caudal y presión requeridas, y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor y atenciones de mantenimiento”<sup>1</sup>.

El vapor generado en la caldera debe ser conducido a través de las tuberías hasta el punto en que se requiere esta energía calorífica. Inicialmente habrá una o más tuberías principales que transporten el vapor de la caldera en la dirección de la planta de utilización del vapor. Otras tuberías derivadas de las

---

<sup>1</sup>SPIRAXSARCO, *Guía de referencia técnica- distribución del vapor*. p. 2-3.

primeras pueden transportar el vapor a los equipos individuales. Cuando la válvula de salida de la caldera está abierta, el vapor pasa inmediatamente de la caldera a las tuberías principales. La tubería está inicialmente fría y, por tanto, el vapor le transfiere calor. El aire que rodea las tuberías está más frío que el vapor y en consecuencia, la tubería transfiere calor al aire.

Como el vapor fluye hacia un medio más frío, comenzará a condensar inmediatamente. En la puesta en marcha del sistema, la cantidad de condensado será la mayor, debido a que el vapor se utiliza para el calentamiento de la tubería fría a esto se le conoce como carga de puesta en marcha. Cuando la tubería se haya calentado, aún habrá condensación, ya que la tubería seguirá cediendo calor al aire que la rodea esto se conoce por carga de funcionamiento.

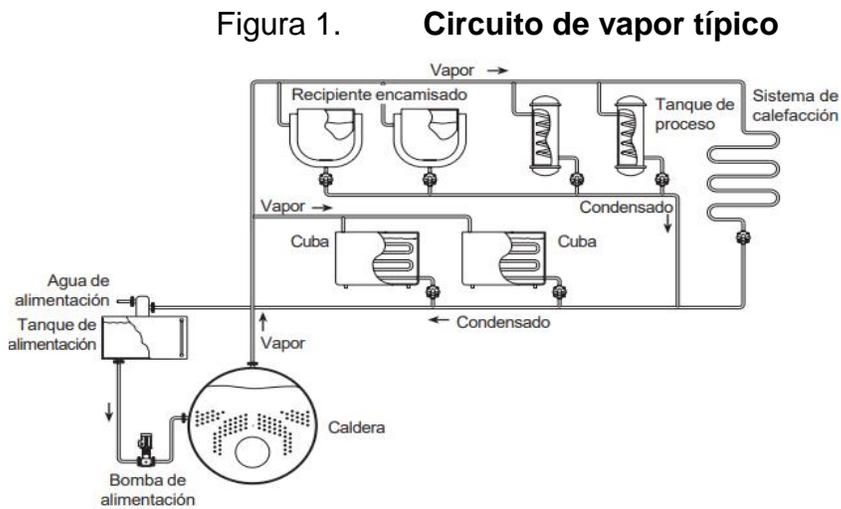
El condensado que resulta, va a parar a la parte inferior de la tubería y es arrastrado a lo largo de ésta por el flujo de vapor y por la gravedad, debido al gradiente en la conducción de vapor que normalmente disminuirá en la dirección del flujo de vapor. Deberá entonces purgarse el condensado de los puntos bajos de la tubería de distribución.

Cuando la válvula de la tubería de vapor que alimenta a un equipo de la planta está abierta, el flujo de vapor que proviene del sistema de distribución entra a la planta y de nuevo entra en contacto con superficies más frías. Entonces el vapor cede su energía para calentar el equipo (carga de puesta en marcha) y continúa transfiriendo calor al proceso (carga de funcionamiento) y condensando en agua (condensado).

En este momento hay un flujo continuo de vapor desde la caldera para satisfacer la carga conectada y para mantener este suministro deberá

generarse más vapor. Para hacerlo, será necesario alimentar la caldera con más combustible y bombear más agua a su interior para reemplazar el agua que ha sido evaporada.

El condensado formado tanto en la tubería de distribución como en los equipos de proceso, es agua ya caliente y preparada para la alimentación de la caldera. Aunque es importante evacuar el condensado del espacio del vapor, se trata de un elemento demasiado valioso como para permitir desaprovecharlo. El circuito de vapor básico debe completarse con el retorno del condensado al tanque de alimentación de la caldera, siempre que sea factible.



Fuente: SPIRAXSARCO, *Guía de referencia técnica- distribución del vapor*, p. 3

### 1.3.1. Elementos de una red de distribución de vapor

Los elementos que componen una red de distribución de vapor son las tuberías, accesorios de tuberías y accesorios específicos que se encargan de la eliminación del aire y condensado.

### **1.3.1.1. Tipo de tubería**

Existen tubos con costura y sin costura; la diferencia entre ellos radica en el modo de fabricación. Los primeros basan su manufactura en la soldadura, mientras los segundos su manufactura se puede ser por extrusión, forja o taladro.

La ASTM (American Society of Testing Materials), organismo de normalización de los Estados Unidos, agrupa los tubos en corrientes (para fluidos) y especiales (para conducción de vapor; son los fabricados de hierro negro (acero al carbono, 0,55 %) de acuerdo con las especificaciones ASTM A106 (cédula 80) y A53 (cédula 40)). Los materiales son los mismos para ambos, pero los ensayos para el A106 son más rigurosos.

Las presiones de trabajo permisibles para el A53 son de 270 libras por pulgada cuadrada y para el A106 son de 1 130 libras por pulgada cuadrada. Se fabrican en grados A y B. El grado B tiene resistencia mecánica más alta, pero es menos dúctil y por ello sólo se admite el grado A para doblado en frío.

Actualmente la red de distribución de vapor y retornos de condensado del Hospital General San Juan de Dios está fabricada con tubería ASTM A106 cédula 80.

### **1.3.1.2. Accesorios de tubería**

Los accesorios de las tuberías son el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tubería de una planta de proceso.

Todos los accesorios de tubería introducen una pérdida de carga al paso del fluido que circula por ellas. Existen métodos para calcular la pérdida de carga de los accesorios en función de parámetros suministrados por las casas comerciales, pero lo más habitual es realizar una aproximación que introduce errores muy pequeños en el cálculo de una instalación. Esta aproximación se realiza mediante tablas que asignan a cada tipo de componente lo que se denomina longitud equivalente. La longitud equivalente representa una longitud ficticia de tubería del mismo diámetro que el accesorio que introduciría la misma pérdida de carga que el propio accesorio. En otras palabras, se substituye el accesorio por un número determinado de metros de tubería que producen el mismo efecto. Estos valores de longitudes equivalentes se encuentran tabulados, en algunas ocasiones para cada diámetro de accesorio y en otros casos como longitudes equivalentes expresadas en número de diámetros de tubería.

### **1.3.1.3. Trampas de vapor**

La utilización de trampas de vapor es el método más eficaz de drenar el condensado de un sistema de distribución de vapor. Las trampas usadas para drenar la línea deben ser adecuados para el sistema, y tener la capacidad suficiente para evacuar la cantidad de condensado que llegue a ellos, bajo las presiones diferenciales presentes en cada momento.

La función principal de la trampa es descargar el condensado del vapor en una forma automática y segura hacia el drenaje o tubería de condensado y sus otras funciones son:

- Permitir el paso del condensado que es generado por el calor latente del vapor en una tubería o proceso, del sistema de vapor a un sistema de menor presión.
- Impedir el paso del vapor, asegurando así que se aproveche su calor latente en el sistema o proceso.
- Remover aire y otros gases no condensables del sistema de vapor para mantener la temperatura y reducir la corrosión en el sistema.

Existen varios tipos de trampas de vapor según su principio de funcionamiento. Cada tipo tiene sus aplicaciones específicas según la aplicación, punto de instalación y condiciones de uso:

- Trampas termostáticas
  - Trampas mecánicas
  - Trampas termodinámicas
- Trampas termostáticas

Operan mediante un sensor de temperatura, el que identifica la temperatura del vapor y del condensado. Como el vapor se condensa adquiere una temperatura menor a la del vapor, cuando la temperatura del condensado llega a un valor específico, la trampa abrirá para drenar el condensado.

- Trampas mecánicas

Las trampas mecánicas trabajan con cambios de densidad del fluido. Basan su funcionamiento en la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado.

- Trampas termodinámicas

Las trampas termodinámicas trabajan con cambios en la dinámica del fluido. El funcionamiento de las trampas termodinámicas depende en gran medida de la capacidad de formación de revaporizado del condensado. Este grupo incluye las trampas termodinámicas, de disco, impulso, laberinto y también la simple placa de orificio que no se puede realmente definir como mecánico, ya que se trata sencillamente de un orificio de un diámetro determinado por el que pasa una cantidad determinada de condensado. Todos se basan en que el condensado caliente, descargado a presión, puede revaporizar para dar una mezcla de vapor y agua.

Los tipos de trampas que se encuentran en el Hospital General San Juan de Dios son las siguientes:

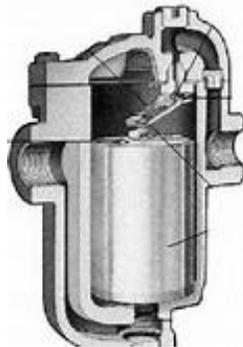
#### **1.3.1.3.1. Trampa de vapor tipo cubeta invertida**

La trampa de vapor de cubeta invertida es una trampa mecánica que opera basada en la diferencia de densidades entre el vapor y el agua. El vapor que entra al balde invertido y causa que éste flote y cierre la válvula de descarga. El condensado que entra a la trampa hace al balde más pesado, por lo que se hunde y así se abre la válvula de descarga para dejar salir al condensado.

A diferencia de otras trampas mecánicas, la de balde invertido también ventea continuamente el aire y el dióxido de carbono, a la temperatura del vapor.

Este tipo de trampas de vapor se encuentran instaladas en los calentadores de agua, pierna colectora del área del túnel, autoclaves y en las secadoras área de lavandería.

Figura 2. **Trampa de vapor cubeta invertida**



Fuente: ARMSTRONG, [www.armstronginternational.com/es/products-systems/steam-condensate/equipo-de-purga-de-vapor/purgadores-de-vapor-de-cubeta-invertida](http://www.armstronginternational.com/es/products-systems/steam-condensate/equipo-de-purga-de-vapor/purgadores-de-vapor-de-cubeta-invertida). Consulta: abril, 2018.

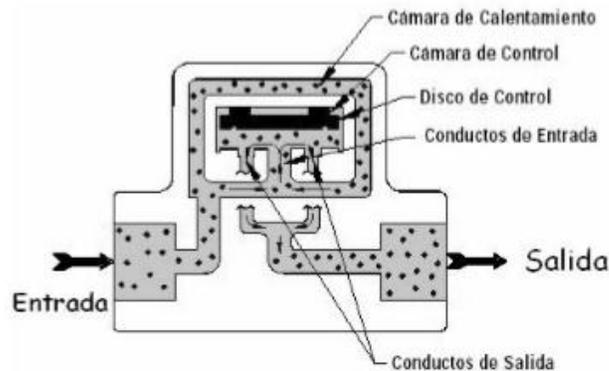
### **1.3.1.3.2. Trampa de vapor termodinámicas**

La forma de operar de esta trampa es que al inicio la presión creada por el condensado frío empuja la válvula de disco hacia arriba dejando libre la entrada y salida de la trampa, lo que permite la descargar. Cuando el condensado se ha calentado lo suficiente para que el condensado arriba de la válvula se vuelva vapor y con lo cual haya un aumento de presión en la parte superior de la válvula y en la parte inferior de la válvula se disminuye la presión por la alta velocidad del flujo esta diferencia de presión hará que se cierre la válvula, sellando la trampa con lo cual no dejara escapar vapor del sistema.

Este tipo de trampas de vapor se encuentran instaladas en el manifold de distribución de vapor de la caldera que distribuye el vapor hacia los diferentes

servicios en el hospital que requieren vapor, en otro de los equipos en donde se encuentra este tipo de trampas de vapor es en las marmitas servicio de cocina.

Figura 3. **Trampa de vapor termodinámica**



Fuente: SPIRAXSARCO. *Trampas termodinámicas para vapor*. p. 2.

### 1.3.1.3.3. **Trampa de flotador y termostática**

Principio de funcionamiento: el aire que entra a la trampa se descarga a través de una ventila auxiliar. El condensado obliga al flotador a subir y coloca la válvula de descarga en tal posición que el condensado se descarga a medida que entra en la trampa. El nivel de condensado establecido en la trampa forma un sello efectivo para el vapor.

Las ventajas de esta trampa son: descarga el condensado en forma continua, gran capacidad de ventilación a través de la ventilla regulable, térmicamente sensible, no se producen grandes variaciones de presión en la descarga.

Figura 4. **Trampa de flotador y termostáticas**



Fuente: SPENCE. [www.bing.com/trampa-de-vapor](http://www.bing.com/trampa-de-vapor). Consulta: abril del 2018.

#### **1.3.1.3.4. Trampa termostática tipo bimetálica**

El funcionamiento de esta trampa se lleva a cabo por un componente llamado bimetálico. El bimetálico es la unión de dos láminas delgadas de metales distintos, los que al haber una variación de temperatura se dilatan cantidades distintas. Entonces el funcionamiento de las trampas bimetálicas es el siguiente: la trampa está abierta en su totalidad en el arranque, donde descargará el aire y el condensado que se encuentre al interior del cuerpo ya que la temperatura de éste es menor que la del condensado. Una vez que comience a venir vapor, la placa bimetálica, donde uno de sus extremos permanece fijo y al otro se le une una válvula, reaccionará al cambio de temperatura, dilatándose, para así cerrar el orificio de salida por medio de la válvula.

Figura 5. **Trampa termostática**



Fuente: CPIPEAM. [https://www.cpipeam.cl/v-c\\_trampas-termostaticas-baja-presion.html](https://www.cpipeam.cl/v-c_trampas-termostaticas-baja-presion.html).  
Consulta: abril del 2018.

#### **1.3.1.4. Tipos de juntas o uniones**

La instalación de tuberías se hace en obra, las secciones se cortan a la medida y se van empalmando en el lugar de la instalación.

Las uniones son de tres tipos:

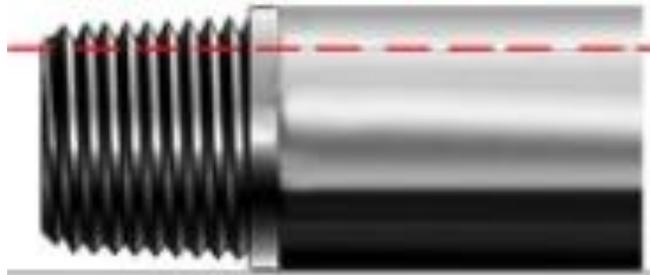
- Uniones roscadas
- Uniones soldadas
- Uniones por medio de bridas

##### **1.3.1.4.1. Uniones roscadas**

Estas uniones son usuales en tuberías de diámetros pequeños y hasta un diámetro nominal de 4 pulgadas como máximo.

Las roscas en los tubos a diferencia del tornillo tienen cierta conicidad lo que hace que al apretarlas queden juntas herméticamente, sobre todo cuando previamente se aplica sellantes como: teflón, permatex o epóxicos. Como consecuencia de la conicidad, una rosca de tubería puede únicamente roscar, en una conexión, cierta distancia antes de llegar a trabarse.

Figura 6. **Rosca cónica**



Fuente: ESPE. <http://slideplayer.es/slide/1646091/>. Consulta: abril del 2018

#### **1.3.1.4.2. Uniones soldadas**

El perfeccionamiento de la técnica de la soldadura ha dado lugar a la reducción de los costos de las uniones en las tuberías de acero haciéndolas soldadas, las cuales son aplicables con ventaja en cualquier tamaño de la tubería.

#### **1.3.1.4.3. Uniones por bridas**

En realidad, es una variante tanto de juntas roscadas como soldadas ya que ambas maneras se pueden fijar a las secciones del tubo.

Las bridas soldadas, para la instalación de tuberías en plantas industriales es cada vez más usada ya que permite efectuar labores de mantenimiento y ampliaciones con facilidad.

La ASA (American Standard Association) ha establecido para los fabricantes de bridas y accesorios soldados normas en lo que respecta al acero usado e impone la obligación a los fabricantes a estampar la presión máxima de trabajo que soportan además que las dimensiones también se han normalizado de tal manera que las tolerancias permisibles para bridas y accesorios para tubería de hasta 10 pulgadas de diámetro es del orden de 0,5mm, y para diámetros mayores es de 1,0mm.

De igual forma para permitir el intercambio de bridas de diferentes fabricantes el número de barrenos de las bridas son siempre múltiplos de 4.

#### **1.3.1.4.4.      Bridas deslizantes**

Son llamadas así debido a que el diámetro interior de las mismas coincide con el diámetro exterior de la tubería con cierta holgura lo que les permite deslizarse sobre la superficie exterior del tubo. Estas bridas se usan para presiones hasta de 250 psi.

**Figura 7.      Brida soldada deslizante**



Fuente: ROJAS, Amanda. *Accesorios para tubería*. <https://www.slideshare.net/acazro/accesorios-para-tuberas>. Consulta: abril del 2018.

### **1.3.1.5. Material aislante**

El aislamiento en las tuberías se utiliza para reducir la pérdida de calor sobre consideraciones de tipo económico. Una conductividad térmica baja es la propiedad que distingue a un aislamiento térmico.

La existencia de un aislante en buen estado ayuda a evitar considerablemente las pérdidas de energía por transferencia de calor. Esto, a su vez, colabora significativamente con la calidad y cantidad de vapor que llega a los equipos y permite que funcionen eficientemente

### **1.3.1.6. Válvulas**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico el cual es instrumentos de control para la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Entre la gran gama de válvulas que existen en la red de distribución de vapor se tienen las siguientes:

#### **1.3.1.6.1. Válvulas de compuerta**

Es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción, este tipo de válvula no es recomendable para estrangulamiento ya que posee un disco que se alterna en el cuerpo lo que causaría una erosión arruinando su funcionamiento.

En las válvulas de compuerta el área máxima del flujo es el área del círculo formado por el diámetro nominal de la válvula, debido a esto es que se

recomienda el uso en posiciones extremas, o sea, completamente abierta o completamente cerrada, ya que de ser así ofrecen la mínima resistencia al paso del fluido y así su caída de presión es muy pequeña. También para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

Normalmente este tipo de válvulas son construidas en su cuerpo de latón, bronce, hierro, acero fundido. En su interior normalmente son de bronce, acero inoxidable, acero aleado, monel, cromo, estelita o molibdeno.

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

#### **1.3.1.6.2. Válvulas de globo**

La principal función de las válvulas de globo es regular el flujo de un fluido, estas válvulas regulan el fluido desde el goteo hasta el sellado hermético, Debido a que la caída de presión es bastante fuerte (en todo caso siempre controlada) se utilizan en servicios donde la válvula de compuerta no puede estrangular o dar un servicio eficiente.

Una de las características que posee esta válvula es la construcción interna, donde posee un disco o macho cuyo movimiento se alterna dentro del cuerpo. Esta válvula se compone principalmente de volante, vástago, bonete, asientos, disco y cuerpo.

Normalmente este tipo de válvulas son construidas en su cuerpo de bronce, hierro, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero inoxidable.

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

#### **1.3.1.6.3. Válvulas de bola**

Las válvulas de bola son de acción más rápida y de cierre más hermético que las válvulas de globo o de compuerta del tipo convencional, son una combinación de una esfera perfecta apoyada en muñones y con asientos móviles. Se aplican a muchos servicios en los que con anterioridad se empleaban las válvulas de tipo convencional.

La válvula de bola está limitada a las temperaturas y presiones que permite el material del asiento. Se puede emplear para vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos.

Los principales componentes de estas válvulas son el cuerpo, el asiento y la bola. Este tipo de válvula se recomienda especialmente para servicio de conducción y corte, sin estrangulación, cuando se requiere apertura rápida, para temperaturas moderadas, cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.

Normalmente este tipo de válvulas son construidas en su cuerpo de hierro fundido, hierro dúctil, bronce, latón, aluminio, aceros al carbono, aceros inoxidable. El asiento puede ser de: TFE, Nylon, Buna-N, neopreno.

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

#### **1.3.1.6.4. Válvulas de retención**

Estas válvulas son de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería. Como se utilizan en combinación con válvulas de control de circulación, la selección de la válvula, con frecuencia, se hace sobre la base de las condiciones para seleccionar la válvula de control de circulación.

Este tipo de válvula se recomienda especialmente para cuando se necesita resistencia mínima a la circulación, cuando hay cambios poco frecuentes del sentido de circulación en la tubería, para servicio en tuberías que tienen válvulas de compuerta, para tuberías verticales que tienen circulación ascendente.

Normalmente este tipo de válvulas son construidas en su cuerpo de: bronce, hierro fundido, acero forjado, monel, acero fundido, acero inoxidable, acero al carbono.

#### **1.3.1.6.5. Válvulas reguladoras de presión**

En una planta usuaria de vapor, normalmente el vapor se genera a presiones elevadas. El vapor a menor presión se necesita normalmente en el punto de uso. Un control eficaz exige una válvula automática que pueda reducir la presión de manera precisa, fiable y a un costo adecuado para la aplicación.

El mecanismo que automáticamente ajusta a la presión en las válvulas reductoras utiliza el equilibrio entre la presión de vapor y el resorte de ajuste.

En la actualidad, esto es universal en todas las válvulas reductoras de presión que se fabrican. Sin embargo, cuando se trata del mecanismo que determina la cantidad de apertura de la válvula, podemos encontrar dos tipos:

- Sin piloto, válvula de acción directa: el resorte de ajuste aplica la fuerza de ajuste directa sobre la válvula principal.
- Válvula operada por piloto: el resorte de ajuste aplica la fuerza directamente en la válvula piloto, la cual es más pequeña y totalmente distinta a la válvula principal.

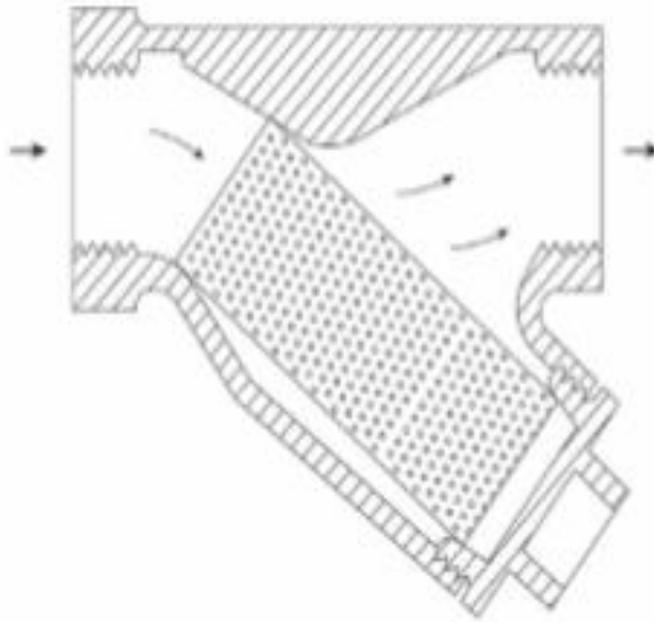
#### **1.3.1.7. Filtros**

Un filtro es un elemento mecánico usado para retener toda impureza que puede tener el fluido. Tiene las mismas conexiones que las válvulas y están fabricados con un cuerpo de acero, hierro fundido, bronce, acero inoxidable. Tienen en su interior una malla la cual puede ser de acero inoxidable.

El funcionamiento consiste en el paso del flujo a través de un cedazo, el cual está enrollado rígidamente en forma cilíndrica, no permite el paso de partículas extrañas en el flujo, se especifica para el material que se requiere, la presión y temperatura, el tipo de fluido y el tamaño de la tubería a la cual son conectados.

Cuando está instalado antes de cualquier equipo evita que el flujo entre con cualquier cuerpo extraño, también evita que el flujo corra libremente, lo cual puede impedir el funcionamiento normal del equipo o lo dañaría, por lo cual la instalación más común es después del equipo.

Figura 8. **Sección de un filtro**



Fuente: SPIRAXSARCO. *Guía de referencia técnica- Distribución del Vapor*. p. 27.

#### **1.4. Condensado de vapor**

El condensado es el líquido formado cuando el vapor pasa de fase gas a fase líquida. En un proceso de calentamiento, el condensado es el resultado del vapor que transfirió parte de su energía calorífica, conocida como calor latente, al producto, línea o equipo que debe ser calentado.

En las industrias que usan vapor, el calor latente se refiere a la energía que requiere el agua para convertirse en vapor, también conocida como entalpía o calor de vaporización. Cuando absorbe este calor latente, el agua se transforma en vapor, y cuando lo transfiere, el vapor regresa a formar agua caliente (condensado).

Cuando el vapor se condensa, en el momento mismo en que cambia de fase, el condensado tiene la misma temperatura que el vapor porque sólo el calor latente se ha perdido y, todo el calor sensible permanece. Esta condición se conoce como agua saturada. No desperdiciando, sino al contrario recuperando y reusando tanto calor sensible como sea posible es una de las principales razones por las que el condensado se recupera.

#### **1.4.1. Recuperación de condensado**

Reusar el condensado caliente puede llevar a considerables ahorros de energía y agua, también a la mejora de las condiciones de trabajo y a reducir la huella de carbono de la planta.

- Reducir los costos de combustible

EL condensado contiene una cantidad valiosa de calor sensible, que puede ser entre el 10 y el 30 % de la energía inicial que contiene el vapor.

Alimentar la caldera con condensado de alta temperatura puede maximizar la generación de la caldera porque se requiere menor energía para convertir el agua en vapor. Cuando es eficientemente recuperado y usado, incluso puede reducirse el consumo de combustible entre el 10 y el 20 %.

- Disminuir los gastos relacionados al agua

Siempre que sean removidas las impurezas que vienen con el condensado, éste puede ser usado como agua de alimentación de la caldera, reduciéndose los costos de agua fresca y tratamiento, así como los costos de

agua de enfriamiento usada para bajarle la temperatura al condensado antes de enviarlo al drenaje (si fuera el caso).

- Impacto positivo para la seguridad y el medio ambiente

Reducir la cantidad de combustible necesario gracias a la recuperación de condensado equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

Adicionalmente, las líneas de recuperación de condensado reducen las nubes de vapor, disminuyen el ruido generado por la descarga del condensado a la atmósfera y previenen la formación de charcos de condensado en el piso, mejorándose así el ambiente de trabajo en la planta.

Dependiendo de la cantidad de condensado recuperado y reusado, otros beneficios pueden ser menor frecuencia de las purgas de caldera debido a mejor calidad del agua de alimentación, también menor corrosión en el sistema porque la calidad del agua es constante en toda la red.

## **1.5. Conceptos para el diseño de redes de vapor**

Para el buen diseño de una red de vapor se hace necesario conocer varios factores, de los cuales dependerá una buena eficiencia en el funcionamiento de los equipos.

### 1.5.1. Presión

“La presión a la que el vapor debe distribuirse está básicamente determinada por el equipo de la planta que requiere determinada presión por lo que se tiene que tomar en cuenta que el vapor perderá una parte de su presión al pasar por la tubería, a causa de la pérdida de carga en la misma y a la condensación por la cesión de calor a la tubería, se deberá proveer este margen a la hora de decidir la presión inicial de distribución en cabeza de instalación.”<sup>2</sup>

Cuando se selecciona la presión de trabajo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Presión requerida en el punto de utilización.
- Caída de presión a lo largo de la tubería.
- Pérdidas de calor en la tubería.

El vapor a alta presión presenta un volumen específico menor que el vapor a baja presión. Por tanto, si el vapor se genera en la caldera a una presión muy superior a la requerida por su aplicación, y se distribuye a esta presión superior, el tamaño de las tuberías de distribución será mucho menor para cualquier caudal.

Ventajas de la generación y distribución de vapor a una presión elevada:

- Se requieren tuberías de distribución de vapor de menor diámetro.
- Menores pérdidas energéticas al presentar una superficie de intercambio menor.

---

<sup>2</sup> SPIRAXSARCO, *Guía de referencia técnica- distribución del vapor*. p. 21-22.

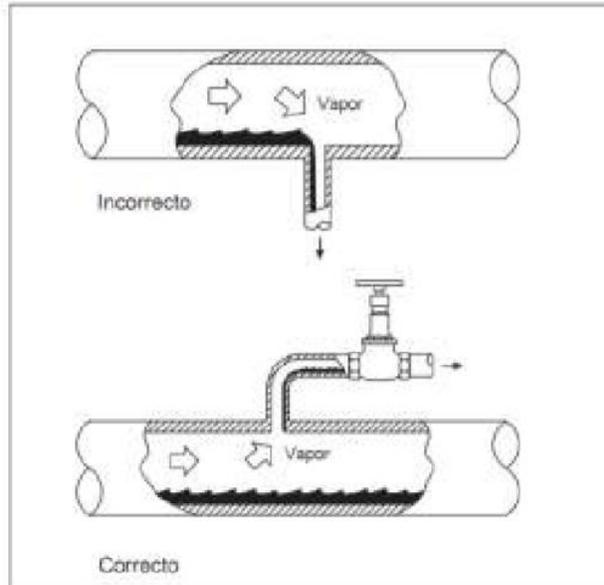
- Menor coste de las líneas de distribución.
- Menor coste de accesorios de tubería y mano de obra de montaje.
- Menor coste del aislamiento.
- Vapor más seco en el punto de utilización, debido al efecto de aumento de fracción seca que tiene lugar en cualquier aumento de presión.
- La capacidad de almacenamiento térmico de la caldera aumenta.

Como contrapartida ocurrirá que, al elevar la presión del vapor, los costes serán más altos también, pues para ello se requiere más combustible, por lo que siempre es prudente comparar los costes que representan elevar la presión del vapor a la máxima presión necesaria con cada uno de los beneficios potenciales mencionados anteriormente. Si se distribuye a altas presiones, será necesario reducir la presión de vapor en cada zona o punto de utilización del sistema, con el fin de que se ajuste a lo que la aplicación requiere. El método más común de reducir la presión es la utilización de una estación reductora de presión.

### **1.5.2. Derivaciones**

Las derivaciones transportarán el vapor más seco siempre que las conexiones tomen el vapor de la parte superior de la tubería principal. Si la toma es lateral, o peor aún, de la parte inferior, transportarán el condensado, comportándose como un pozo de goteo. El resultado de esto es un vapor muy húmedo que llega a los equipos. También son utilizadas las derivaciones en las conexiones que ingresan el condensado a la red de retorno de condensados.

Figura 9. **Instalación de una derivación**



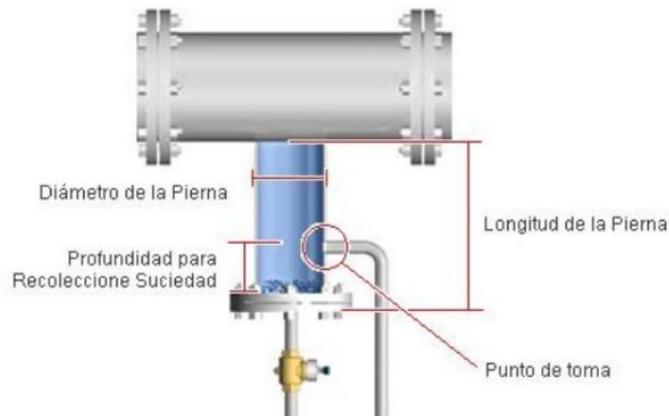
Fuente: SPIRAXSARCO, *Guía de referencia técnica- distribución del vapor*. p. 27.

### 1.5.3. **Piernas colectoras**

También conocidas como purgadores, son las encargadas de drenar el condensado de vapor de un sistema de distribución de vapor.

Para tuberías de hasta cuatro pulgadas las piernas colectoras se pueden diseñar con un diámetro igual a la tubería principal, y una longitud de 28 pulgadas, para evitar que la basura ingrese en el punto de toma, se dejan de 2,5 a 3 cm de profundidad para recolección de suciedad, la parte inferior del pozo debe existir una tubería de drenado, lo que permitirá que en una parada se pueda drenar toda la suciedad acumulada. En la imagen 10 se muestra un ejemplo de la forma correcta de una pierna colectora.

Figura 10. **Instalación de una pierna colectora**



Fuente: GARZA. Carlos. *Errores típicos en el diseño y operación de los sistemas de vapor*. [En línea] de <https://es.slideshare.net/vibra-inc/errores-tpicos-en-el-diseo-y-operacin-de-los-sistemas-de-vapor-saturado-en-las-plantas-industriales>. Consulta: Abril del 2018.

La falta de piernas colectoras en una red de distribución de vapor puede ocasionar los siguientes problemas:

- Golpe de ariete

El golpe de ariete se produce cuando el condensado en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, y se detiene bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema.

Las gotas de condensado acumuladas a lo largo de la tubería, acaban formando una bolsa líquida de agua que será arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor. Esta bolsa de agua es incompresible y, cuando circula a una velocidad elevada, tiene una energía cinética considerable.

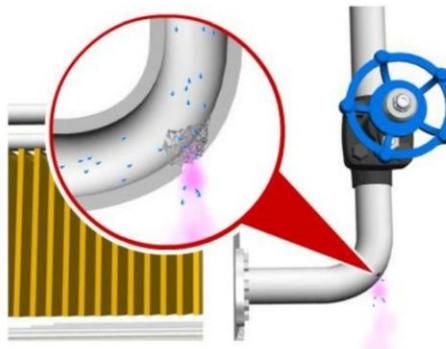
Cuando se obstruye su paso, a causa de una curva u otro accesorio de tubería, la energía cinética se convierte en un golpe de presión que es aplicado

contra el obstáculo. Normalmente se produce un ruido de golpe, que puede ir acompañado del movimiento de la tubería. En casos serios, los accesorios pueden incluso romperse con un efecto casi explosivo, con la consecuente pérdida de vapor vivo en la rotura, creando una situación peligrosa.

- Erosión por picadura de gotas líquidas

El condensado acarreado con el vapor es el causante de la mayoría de la erosión, este tipo de erosión causada por las gotas de condensado al golpear repetidamente la tubería en los codos, el condensado puede causar el adelgazamiento gradual de la pared de la tubería, pues su masa y alta velocidad al impactar tienen un efecto similar que las cortadoras industriales de jet de agua. En la figura 11 es un ejemplo de erosión por picadura de gotas líquidas.

Figura 11. **Erosión por presencia de condensado**



Fuente: GARZA. Carlos. *Errores típicos en el diseño y operación de los sistemas de vapor*. [En línea] de <https://es.slideshare.net/vibra-inc/errores-tpicos-en-el-diseo-y-operacin-de-los-sistemas-de-vapor-saturado-en-las-plantas-industriales>. Consulta: Abril del 2018

- Reglas para la instalación de piernas colectoras:

- Deben instalarse las tuberías de manera que desciendan en dirección al flujo, con una pendiente no inferior a 40 mm por cada 10 m de tubería.
- Se deben de instalar piernas colectoras en las líneas de vapor a intervalos regulares de 30 - 50 m, así como en cualquier punto bajo del sistema.
- Para instalar un punto de purga en un tramo recto de tubería, deberá utilizarse un pozo de goteo de gran tamaño, que pueda recoger el condensado
- La tubería debe montarse de manera que haya el mínimo de puntos bajos donde se pueda acumular el agua.
- Las reducciones de diámetro deben ejecutarse con reductores excéntricos.
- Los purgadores elegidos deben ser robustos para evitar el riesgo de daños por golpe de ariete.

#### **1.5.4. Vapor *flash***

Vapor *flash* es un nombre dado al vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.

El vapor *flash* es tan diferente del vapor normal, simplemente es un nombre conveniente que es utilizado para explicar cómo se forma el vapor. Vapor normal o vivo se genera en la caldera, o en un generador de vapor por recuperación de calor mientras que el vapor flash se genera cuando condensado de alta temperatura y presión se expone a una gran caída de presión tal como la descarga de una trampa de vapor.

El condensado de alta temperatura contiene una gran energía que no puede permanecer en forma líquida a presiones menores debido a que existe

mayor energía que la requerida para obtener agua Saturada a una menor presión. El resultado es que algo de este exceso de energía genera del condensado un porcentaje de vapor *flash*.

El manejo incorrecto del vapor *flash* puede causar erosión en la tubería de retorno de condensado. Por lo tanto el sistema se convierte en una corriente de vapor húmedo a gran velocidad. Esto se llama erosión por *flasheo*. La erosión por *flasheo* puede empeorarse por los siguientes dos factores:

- Líneas de retorno de condensado subdimensionadas que causan la elevada velocidad del vapor *flash* (efecto del cortador de jet de agua)
- Elementos corrosivos como el ácido carbónico asociado con los condensados a baja temperatura.

Adicionalmente, la erosión por cavitación puede ocurrir por las repentinas ondas de choque causadas por la implosión de pequeñas burbujas de vapor en medio del condensado. La erosión por cavitación ocurre debido a que el vapor *flash* ocupa un volumen muy grande que, cuando condensa rápida y repentinamente libera parte de su energía hacia el condensado y la tubería adyacente.

Debido a la diferencia del volumen específico entre el vapor y el condensado, la condensación repentina del vapor *flash* crea un fuerte vacío que es violentamente llenado por el condensado adyacente, causando ondas de choque conocidas como golpe de ariete. El colapso rápido del volumen del vapor flash y las ondas de choque asociadas por la velocidad del condensado llenando el vacío que se forma provoca erosión y daños significativos a la tubería.



## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Servicio de lavandería**

El área de lavandería cuenta con un total de 6 lavadoras y 9 secadoras para una capacidad de lavado de 808 kg (1 781,34 lb) y 763 kg (1 682,13 lb) de secado de ropa por carga, actualmente, se cuenta con una lavadora y dos secadoras fuera de servicio, al presente solo se utiliza el 80 % de la capacidad del equipo, con lo que consigue una capacidad de lavado actual de 1 040 lb y 1 137 lb de secado de ropa, por carga.

El tiempo de lavado puede tardar desde 45 minutos hasta dos horas, dependiendo del tipo de ropa a lavar y para el tiempo de secado de cada carga es de 25 a 45 minutos dependiendo del tipo de ropa que se esté secando.

#### **2.1.1. Descripción de equipos servicio de lavandería**

Para conocer la información técnica de cada equipo que utiliza vapor del servicio de lavandería se utilizaron las placas presentes en cada equipo e información de tarjeta de responsabilidades de activos fijos del departamento de inventario del Hospital General San Juan de Dios. Por la antigüedad de varios equipos y falta de información, se asumieron valores de acuerdo a los encontrados en equipos similares en capacidad y tipo.

Tabla I. **Información técnica secadora *Poensgen Sulzmann***

<b>Equipo:</b>	<b>Secadora de ropa</b>
Marca:	<i>Poensgen Sulzmann</i>
Modelo:	-----
Capacidad:	70kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9)bar
Consumo de vapor:	210 kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Secadora *Poensgen Sulzmann***



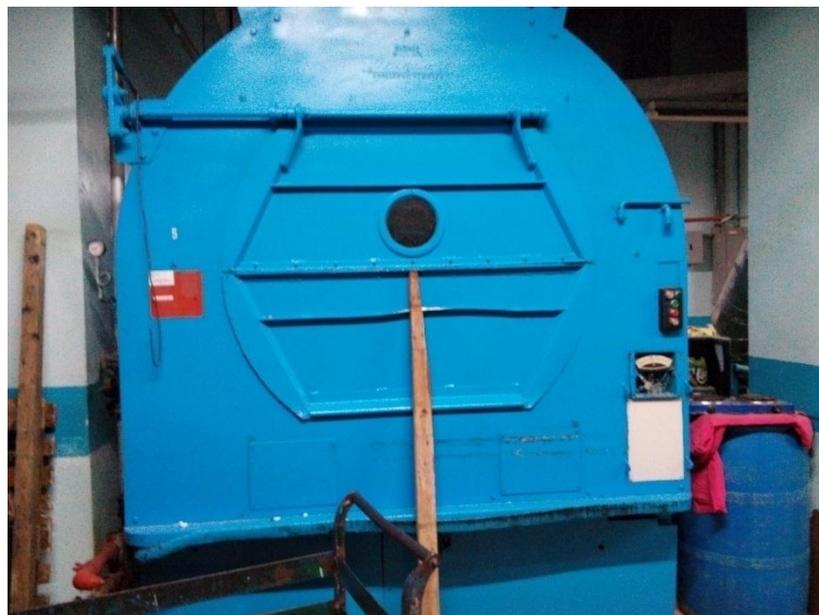
Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla II. **Información técnica secadora de ropa Baldor super *Drynomic***

<b>Equipo:</b>	<b>Secadora de ropa</b>
Marca:	Baldor super <i>Drynomic</i>
Modelo:	SLS-4
Capacidad:	181 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	543 kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

*Figura 13.* **Secadora de ropa Baldor super *Drynomic***



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla III. **Información técnica secadora de ropa *Huebsch***

<b>Equipo:</b>	<b>Secadora de ropa</b>
Marca:	<i>Huebsch</i>
Modelo:	L-44KD42S
Capacidad:	50 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	150 kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Secadora de ropa *Huebsch***



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla IV. **Información técnica secadora de ropa *Warning***

<b>Equipo:</b>	<b>Secadora de ropa</b>
Marca:	<i>Warning</i>
Modelo:	150-CS
Capacidad:	68 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	205 kg/h
Cantidad de equipos:	3

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Secadoras de ropa *Warning***



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla V. **Información técnica secadoras de ropa ADC**

<b>Equipo:</b>	<b>Secadora de ropa</b>
Marca:	ADC (American Dryer Corporation)
Modelo:	D-190
Capacidad:	86 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	258 kg/h
Cantidad de equipos:	3

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Secadoras de ropa ADC**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios

Tabla VI. **Información técnica lavadora de ropa *Washex Warning***

<b>Equipo:</b>	<b>Lavadora de ropa</b>
Marca:	<i>Washex Warning</i>
Modelo:	46/76 FLAP2
Capacidad:	218 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	218 kg/h
Cantidad de equipos:	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Lavadoras de ropa *Washex Warning***



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla VII. **Información técnica lavadoras de ropa *Renzacci***

<b>Equipo:</b>	<b>Lavadora de ropa</b>
Marca:	<i>Renzacci</i>
Modelo:	LX55
Capacidad:	56 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	50 kg/h
Cantidad de equipos:	3

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Lavadoras de ropa *Renzacci***



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla VIII. Información técnica lavadora de ropa *Braun*

Equipo:	Lavadora de ropa
Marca:	<i>Braun</i>
Modelo:	400NEDP-3
Capacidad:	204 kg
Presión de vapor requerido:	(6 - 9) bar
Consumo de vapor:	200 kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Lavadora de ropa *Braun*



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

Tabla IX. **Resumen demanda de vapor (servicio de lavandería)**

<b>Equipo</b>	<b>Consumo vapor kg/h</b>	<b>Estado del equipo</b>	<b>Retorno de condensado kg/h</b>
Secadora Poensgen Sulzmann	210	funcional	210
Secadora Baldor Super Drynomic	543	funcional	543
Secadora Huebsch	150	Fuera de servicio	0
Secadora Warning 1	205	funcional	205
Secadora Warning 2	205	funcional	205
Secadora Warning 3	205	funcional	205
Secadora ADC 2	258	funcional	258
Secadora ADC 2	258	funcional	258
Secadora ADC 3	258	funcional	258
Lavadora Washex Warning 1	218	funcional	-----
Lavadora Washex Warning 2	218	Fuera de servicio	-----
Lavadora Renzacci 1	50	funcional	-----
Lavadora Renzacci 2	50	funcional	-----
Lavadora Renzacci 3	50	funcional	-----
Lavadora Braun	200	funcional	-----
<b>Total</b>	<b>3 078</b>		<b>2 142</b>

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2. Gastos generados por el desperdicio del retorno de condensado de vapor en el servicio de lavandería**

- Cálculo de condensado desperdiciado en el servicio de lavandería.

Para el cálculo de la cantidad de condensado desperdiciado en el área de lavandería se necesita conocer el consumo de vapor real de las secadoras.

Para conocer la cantidad de retorno de condensado real se necesita conocer el consumo de vapor teórico de todos los equipos que consumen vapor en el hospital, estos consumos son:

Servicio de lavandería	6 785,83 lb/h
Servicio de cocina	1 785,74 lb/h
Autoclaves	<u>1 212,54 lb/h</u>
Consumo de vapor teórico	9 784,11 lb/h

Los consumos del servicio de cocina y autoclaves se describen más adelante, en estos consumos no se toman en cuenta los calentadores de agua ya que se encuentran fuera de servicio.

Cantidad de retorno de condensado teórico= 2142 kg/h (4 722,30 lb/h)

Esta cantidad de retorno de condensado equivale 48,26 % del total del consumo de vapor teórico.

Cálculo experimental de la demanda de vapor en el Hospital General San Juan de Dios.

Consumo promedio de diesel diario = 280 gal

Horas de trabajo diario de la caldera= 14 horas

$280\text{gal}/14\text{h} = 20\text{ gal/h}$

$(20\text{ gal. diesel/h}) \cdot (141\ 000\ \text{BTU}/1\ \text{gal. diesel}) = 2\ 820\ 000\ \text{BTU/h}$

$2\ 820\ 000\ \text{BTU/h} \cdot (1\ \text{BHP}/(33\ 475\ \text{BTU/h})) = 84,24\ \text{BHP}$

Para estos cálculos tomaremos la eficiencia de la caldera Cleaver Brooks, que aparece en la tarjeta de activos fijos del departamento de inventarios del hospital, que es de 83%.

$$(84,24 \text{ BHP}) * 0,83 = 69,91 \text{ BHP} \quad \text{aprox. } 70 \text{ BHP}$$

$$70 \text{ BHP} * ((34.5 \text{ lb/h}) / (1 \text{ BHP})) = 2\,415 \text{ lb/h}$$

Demanda actual de vapor en el HGSJD = 2 415 lb/h

Cantidad de condensado desperdiciado en lavandería:

$$2\,415 \text{ lb/h} * (0,4826) = 1\,165,48 \text{ lb/h.}$$

Estos condensados se encuentran a una temperatura de 194 °F, presión de 50 psia y entalpía de 162,09 BTU/lb.

Calculando la cantidad de diesel utilizado para generar esa cantidad de condensado.

Para convertir esta masa de vapor en su equivalente calorífico en BTU/h:

$$Q = [\text{masa de vapor (lb.m.vapor/hora)}] * [\text{entalpía fluido (hf) a } 194 \text{ °F}]$$

$$Q = (1\,165,48 \text{ lb/h}) * (162,09 \text{ BTU/lb}) = 188\,912,65 \text{ BTU/h}$$

Para saber cuántos galones de diesel se usan para generar ese calor:

$$\text{gal.} = [Q \text{ BTU/h}] * [\text{poder calorífico del diesel}] * [1/\text{eficiencia caldera}]$$

$$\text{gal.} = [188\,912,65 \text{ BTU/h}] * [1 \text{ gal}/141\,000 \text{ BTU}] * [1/0.83]$$

$$\text{gal.} = 1.614 \text{ gal. diesel/hora}$$

Este diesel/hora convertido a quetzales/hora, representa un gasto de:

$$\text{Gasto} = [\text{gal. diesel/h}] * [\text{valor en quetzales por un galón}]$$

Gasto = [1,614 gal. diesel/hora]\*[22,5 Q/gal.]

Gasto = 36,32 Q/hora, que se tiran al drenaje de agua pluvial.

Para conocer en galones la cantidad de condensado que se desperdicia:

1 165,48lb/h \*(1 gal/8,34 lb)= 139,74 gal/h

Los desvíos de la red retornos de condensados de las secadoras a los drenajes provocan un desperdicio de 139,74 galones de condensados por hora estos condensados se encuentran a una temperatura 194 °F lo que representa que se necesitan 1,614 galones de diésel por hora para generar esa temperatura en el agua, este diésel convertido a quetzales día representa un gasto Q. 508,48 al día, que se van por el desagüe en forma de condensado no reutilizado. A esto hay que agregarle el valor de los químicos utilizados en el tratamiento de agua de las calderas y el equivalente por la pérdida de calor por el mal estado del aislamiento en la línea de vapor y retorno de condensado.

## **2.2. Servicio de cocina**

Esta unidad se encarga de abastecer con alimentación a pacientes y al personal operativo, en esta unidad la fuente de energía para la cocción de alimentos es el vapor de agua, gas propano y electricidad, dándole mayor uso al vapor. Esta área cuenta con un total de 10 marmitas.

### **2.2.1. Descripción de equipos servicio de cocina**

Para conocer la información técnica de cada equipo que utiliza vapor del servicio de cocina se utilizaron las placas presentes en cada equipo y la información presente en la tarjeta de responsabilidades de activos fijos del departamento de inventario del Hospital General San Juan de Dios.

- Descripción de los equipos que utilizan vapor:

Tabla X. **Información técnica marmitas**

<b>Equipo:</b>	<b>Marmita tipo volteo</b>
Marca:	Vulcan
Modelo:	VDL -40
Capacidad:	40 galones
Presión de vapor requerido:	(0,8 - 2) bar
Consumo de vapor para alcanzar ebullición:	90 kg/h
Consumo de vapor para mantener la ebullición	13 kg/h
Cantidad de equipos:	8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Información técnica marmitas tipo fija**

<b>Equipo:</b>	<b>Marmita tipo fija</b>
Marca:	Vulcan
Modelo:	VDL -20
Capacidad:	20 galones
Presión de vapor requerido:	(0,8 - 2) bar
Consumo de vapor para alcanzar la ebullición:	45 kg/h
Consumo de vapor para mantener la ebullición	7 kg/h
Cantidad de equipos:	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Marmitas área de cocina**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. *Área de cocina.*

Tabla XII. **Resumen demanda de vapor servicio de cocina**

<b>Total de equipos:</b>	<b>10</b>
Consumo de vapor para alcanzar ebullición:	810 kg/h
Consumo de vapor para mantener la ebullición	118 kg/h

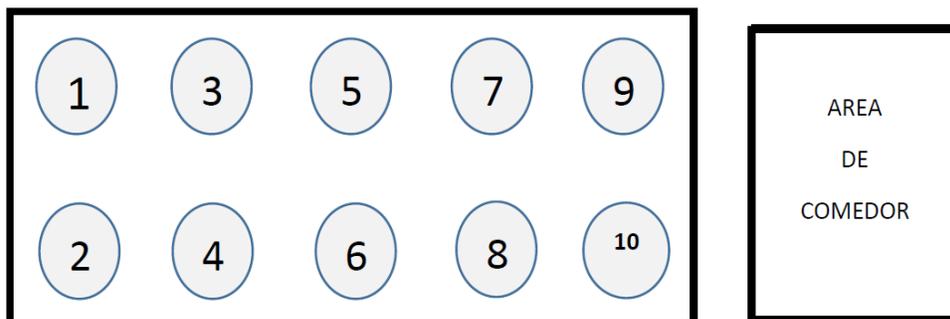
Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2. Situación actual área de cocina

El retorno de condensado de este servicio es descargado en un drenaje de agua pluvial encontrado a la par del cuarto de máquinas, encontrándose también la falta de material aislante en la red de distribución de vapor y retorno de condensado.

Además, del desperdicio de condensado se encontró que, el diseño actual de la distribución de vapor a las marmitas es inadecuado y está en mal estado, lo que provoca una ineficiencia en los equipos por falta de la cantidad de caudal de vapor necesario para cada marmita, También se encontró que las marmitas tienen instaladas trampas termodinámicas de disco CD-33 y CD-33s las cuales están diseñadas específicamente para las siguientes aplicaciones: piernas colectoras de líneas de distribución de gran diámetro, equipos de proceso y equipos de calentamiento HVAC a presión constante, por tal razón estas trampas actualmente provocan problemas de bloqueo en los equipos esto debido a la presencia de gases no condensables que las trampas no logran liberar. En la figura 22. Se logra ver el diseño actual de la red de distribución de vapor en el área de cocina y en la tabla XIII. Se describe la marmita y el tipo de trampa de vapor instalada.

Figura 21. **Distribución de las marmitas área de cocina**



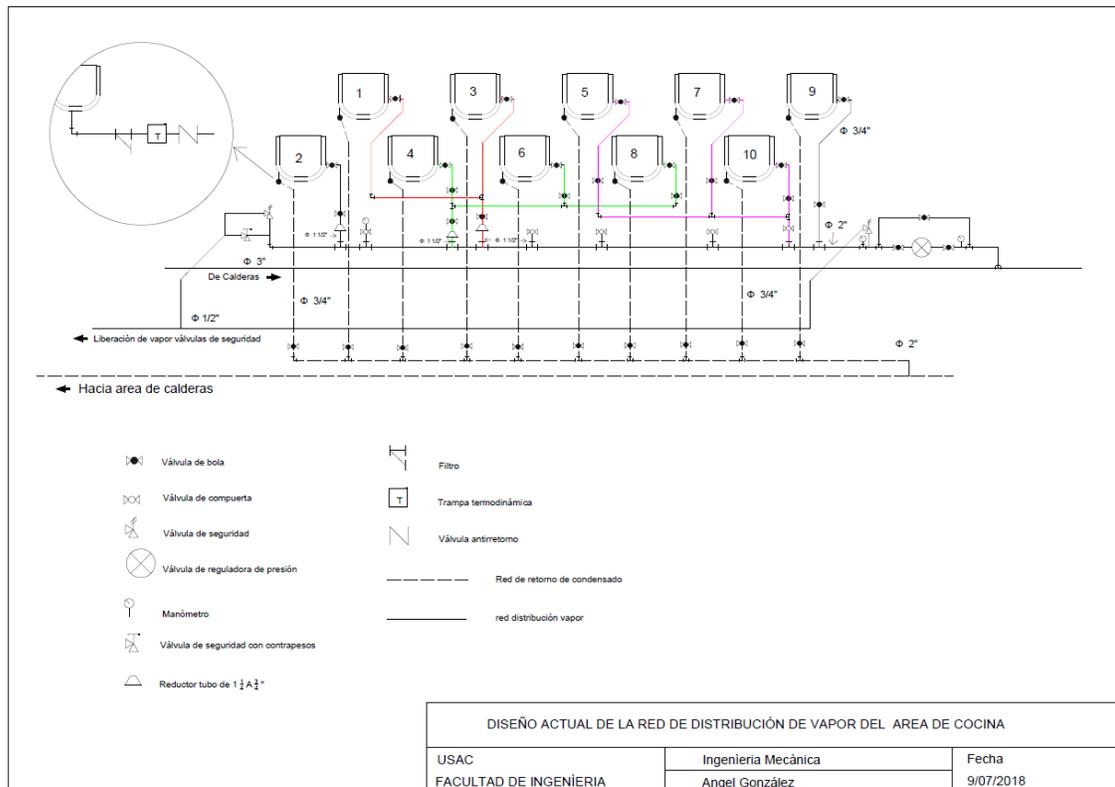
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Descripción de las marmitas y trampas instaladas

Núm. Marmita	Tipo	Marca	Modelo	Capacidad	Trampa de vapor Instalada
1	Volteo	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
2	Volteo	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
3	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
4	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
5	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33S Armstrong
6	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
7	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33 Armstrong
8	Fija	Vulcan	VDL-40	40 gal.	CD-33S Armstrong
9	Fija	Vulcan	VDL-20	20 gal.	CD-33 Armstrong
10	Fija	Vulcan	VDL-20	20 gal.	CD-33 Armstrong

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Diseño actual de la red de vapor área de cocina



Fuente: elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

### 2.2.3. Gastos generados por el desperdicio de condensado de vapor en el servicio de cocina

Para conocer la cantidad de retorno de condensado real se necesita conocer el consumo de vapor teórico de todos los equipos que consumen vapor en el hospital, estos consumos son:

Servicio de lavandería	6 785,83 lb/h
Servicio de cocina	1 785,74 lb/h
Autoclaves	<u>1 212,54 lb/h</u>
Consumo de vapor teórico	9 784,11 lb/h

El consumo de autoclaves antes mencionados se describe más adelante, en estos consumos no se toman en cuenta los calentadores de agua ya que se encuentran fuera de servicio.

Cantidad de retorno de condensado teórico= 810 kg/h (1 785,74 lb/h) esta cantidad de retorno de condensado equivale 18,25 % del total del consumo de vapor teórico.

Demanda actual de vapor en el HGSJD = 2 415 lb/h

Cantidad de condensado desperdiciado en cocina:

$$2\,415 \text{ lb/h} \times (0,1825) = 440,74 \text{ lb/h.}$$

Estos condensados se encuentran a una temperatura de 194 °F, presión de 20 psia y entalpia de 162,09 BTU/lb

Calculando la cantidad de diésel utilizado para generar esa cantidad de condensado.

Para convertir esta masa de vapor en su equivalente calorífico en BTU/h:

$$Q = [\text{masa de vapor (lb. m. vapor/hora)}] * [\text{entalpía fluido (hf) a } 194 \text{ °F}]$$

$$Q = (440,74 \text{ lb/h}) * (162,09 \text{ BTU/lb}) = 71\,439,54 \text{ BTU/h.}$$

Para saber cuántos galones de diésel se usan para generar ese calor:

$$\text{gal.} = [Q \text{ BTU/h}] * [\text{poder calorífico del diésel}] * [1/\text{eficiencia de caldera}]$$

$$\text{gal.} = [71\,439,54 \text{ BTU/h}] * [1 \text{ gal}/141\,000 \text{ BTU}] * [1/0,83]$$

$$\text{gal.} = 0,610 \text{ gal. diésel/hora}$$

Este diésel/hora convertida a quetzales/hora, representa un gasto de:

$$\text{Gasto} = [\text{gal. diésel/h}] * [\text{valor en quetzales por un galón}]$$

$$\text{Gasto} = [0,610 \text{ gal. diésel/hora}] * [22,5 \text{ Q/gal.}]$$

$$\text{Gasto} = 13,73 \text{ Q/hora, que se tiran al drenaje de agua pluvial.}$$

Para conocer en galones la cantidad de condensado que se desperdicia:

$$440,74 \text{ lb/h} * (1 \text{ gal}/8,34 \text{ lb}) = 52,84 \text{ gal/h}$$

El desvío de la red de retorno de condensado de las marmitas en el área de cocina, hacia el drenaje de agua pluvial genera un desperdicio de condensado de 52,84 galones por hora, estos condensados son tirados al drenaje de agua pluvial, estos condensados se encuentran a una temperatura de 194 °F lo que representa que se necesitan 0,610 galones de diésel por hora para generar esa temperatura en el agua, este diésel convertido a quetzales día representa un gasto Q. 192,22 al día.

### 2.3. Central de equipos

Esta unidad es una de las unidades más importantes, que necesita de una buena calidad de vapor para funcionar eficientemente, esta unidad se encarga de esterilizar equipos e instrumentos quirúrgicos, para su reutilización.

#### 2.3.1. Descripción de equipos

Para conocer la información técnica de cada equipo que utiliza vapor en central de equipos se utilizaron las placas presentes en cada equipo.

Tabla XIV. **Información técnica autoclaves, central de equipos**

<b>Equipo:</b>	<b>Autoclave</b>
Marca:	Getinge
Modelo:	-----
Capacidad:	700 litros
Presión de vapor requerido:	(2-3) bar
Consumo de vapor:	100 kg/h
Cantidad de equipos:	4

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Autoclaves centrales de equipos**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. *Central de equipos.*

Tabla XV. **Información técnica autoclave de farmacia interna**

<b>Equipo:</b>	<b>Autoclave</b>
Marca:	Getinge
Modelo:	-----
Capacidad:	700 litros
Presión de vapor requerido:	(2-3) bar
Consumo de vapor:	100 kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Autoclave farmacia interna**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. *Farmacia interna*.

Tabla XVI. **Información técnica autoclave área de lactarios**

<b>Equipo:</b>	<b>Autoclave</b>
Marca:	Getinge
Modelo:	-----
Capacidad:	700 litros
Presión de vapor requerido:	(2-3) bar
Consumo de vapor:	50kg/h
Cantidad de equipos:	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Autoclave lactarios**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. *Lactarios*.

Tabla XVII. **Resumen (central de equipos, área de farmacia interna y lactarios)**

Total de equipos	6
Consumo de vapor	550kg/h

Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2. Gastos generados por el desperdicio de condensado**

El condensado que se quiere recuperar es el formado en un tramo de tubería ANSI Sch80 de 181 m, a causa de las pérdidas de calor por radiación, actualmente solo un 70 % de la tubería cuenta con aislamiento de fibra de vidrio y un espesor de 1 pulgada, el resto de la tubería se encuentra con las cañuelas de fibra de vidrio en mal estado o carecen de ella, este condensado es transportado a un pre-tanque de una capacidad de 77,94 galones, este pre-tanque se encuentra en el túnel. Este tanque cuenta con una bomba de ½ hp la cual es la encargada de darle el impulso necesario para recorrer 121 metros hasta el tanque de retornos de condensado en el área de calderas, actualmente este sistema se encuentra deshabilitado por daños severos de deterioro.

Para conocer la carga de condensado por perdida de calor por radiación en la tubería de central de equipos se utilizó el software calculadora de ingeniería TLV la cual se encuentra disponible en línea <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/>.

Tabla XVIII. **Condensado formado a causa de las perdidas por radiación en la red de central de equipos**

Diámetro tubería (In)	Largo (m)	Presión de vapor (psig)	Tubería Aislada (m)	Tubería Sin aislar (m)	Condensado producido (tubería aislada) (lb/h)	Condensado producido (tubería sin aislar) (lb/h)
3	47	100	30	17	11,02	39,35
1 1/2	51	40	36	15	6,35	14,73
3	83	40	58	25	16,09	45,24
TOTAL de condensado formado en la red de central de equipos y farmacia interna.					<b>132,78 (lb/h)</b>	

Fuente: elaboración propia.

Carga de condensado formado en la red de central de equipos y farmacia interna por pérdida de calor por radiación es igual a 132,78 lb/h

Los condensados que provienen después de la reguladora son 82,41 lb/h, se encuentran a temperatura de 194 °F, presión de 20 psia y entalpia de 162,09 BTU/lb.

Calculando la cantidad de diésel utilizado para generar esa cantidad de condensado.

Para convertir esta masa de vapor en su equivalente calorífico en BTU/h:

$$Q = [\text{masa de vapor (lb. m. vapor/hora)}] \cdot [\text{entalpía fluido (hf) a 194 °F}]$$

$$Q = (82,41 \text{ lb/h}) \cdot (162,09 \text{ BTU/lb}) = 13\,291,38 \text{ BTU/h.}$$

Para saber cuántos galones de diésel se usan para generar ese calor:

$$\text{gal.} = [Q \text{ BTU/h}] * [\text{poder calorífico del diésel}] * [1/\text{eficiencia de caldera}]$$

$$\text{gal.} = [13\,291,38 \text{ BTU/h}] * [1 \text{ gal}/141\,000 \text{ BTU}] * [1/0,83]$$

$$\text{gal.} = 0,113 \text{ gal. diésel/hora}$$

Los condensados que provienen antes de la reguladora son 50,37 lb/h, se encuentran a temperatura de 194 °F, presión de 50 psia y entalpia de 162,09 BTU/lb.

Calculando la cantidad de diésel utilizado para generar esa cantidad de condensado.

Para convertir esta masa de vapor en su equivalente calorífico en BTU/h:

$$Q = [\text{masa de vapor (lb. m. vapor/hora)}] * [\text{entalpía fluido (hf) a } 194 \text{ °F}]$$

$$Q = (50,37 \text{ lb/h}) * (162,09 \text{ BTU/lb}) = 8\,164,47 \text{ BTU/h.}$$

Para saber cuántos galones de diésel se usan para generar ese calor:

$$\text{gal.} = [Q \text{ BTU/h}] * [\text{poder calorífico del diésel}] * [1/\text{eficiencia de caldera}]$$

$$\text{gal.} = [8\,164,47 \text{ BTU/h}] * [1 \text{ gal}/141\,000 \text{ BTU}] * [1/0,83]$$

$$\text{gal.} = 0,069 \text{ gal. diésel/hora}$$

Este diésel/hora convertido a quetzales/hora, representa un gasto de:

$$0,113 \text{ gal. diésel/hora} + 0,069 \text{ gal. diésel/hora} = 0,182 \text{ gal. diésel/hora}$$

$$\text{Gasto} = [\text{gal. diésel/h}] * [\text{valor en quetzales por un galón}]$$

$$\text{Gasto} = [0,182 \text{ gal. diésel/hora}] * [22,5 \text{ Q/gal.}]$$

$$\text{Gasto} = \text{Q. } 4,09 \text{ Q/hora, que se tiran al drenaje de agua pluvial.}$$

Para conocer en galones la cantidad de condensado que se desperdicia:

$$132,78 \text{ lb/h} * (1 \text{ gal}/8,34 \text{ lb}) = 52,84 \text{ gal/h.}$$

El desperdicio de condensado en el área del túnel por el mal funcionamiento del pretanque es de 15,92 galones de condensado por hora, estos condensados se encuentran a una temperatura 194 °F lo que representa que se necesitan 0,182 galones de diésel por hora para generar esa temperatura en el agua, este diésel convertido a quetzales día representa un gasto Q. 57,26 al día, que se van por el desagüe en forma de condensado no reutilizado.

#### **2.4. Estudio de costos generados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensado del Hospital General San Juan de Dios.**

La desviación de las líneas de retorno de condensado y el mal diseño de la misma, generan un desperdicio de energía que es tirada a los drenajes de agua pluvial en forma de condensado, además de provocar nubes de vapor y formación de charcos de condensado en el piso.

Tabla XIX. **Costos generados por el desperdicio de condensado**

<b>Servicio</b>	<b>Cantidad de condensado desperdiciado</b>	<b>Costo diario por desperdicio de condensado</b>	<b>Costo anual por desperdicio de condensado</b>
Lavandería	139,74 gal/h	Q. 508,48	Q. 185 595,20
Cocina	52,84 gal/h	Q. 192,22	Q. 70 160,30
Autoclaves	15,92 gal/h	Q. 57,26	Q. 20 899,90
<b>Total</b>	<b>208,50 gal/h</b>	<b>Q. 757,96</b>	<b>Q. 276 655,40</b>

Fuente: elaboración propia.

El costo anual que se tiene en el Hospital General San Juan de Dios por el desperdicio de condensado en los servicios de lavandería, cocina, central de equipos y farmacia interna es de Q. 276 655,40.

## **2.5. Problemas generados por el mal diseño actual de la red de retorno de condensado**

Para el buen diagnóstico en la realización de este proyecto se realizó un análisis al agua de suministro de las calderas y los problemas generados por la falta de retorno de condensado y mal tratamiento de agua.

El tratamiento del agua de las calderas de vapor del Hospital General San Juan de Dios, es fundamental ya que su funcionamiento asegura una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes en las calderas.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

Tabla XX. **Resultados obtenidos en los análisis realizados en las distintas fechas al sistema de tratamiento de agua de las calderas del Hospital General San Juan de Dios**

Fecha	Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua salida de suavizadores ( 0 )ppm	Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua tanque condensado ( 0 )ppm	Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua interior caldera ( 0 )ppm	Alcalinidad (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua interior caldera (200 <sub>Min</sub> – 800 <sub>Max</sub> )ppm	pH (10 <sub>Min</sub> – 12 <sub>Max</sub> )
14/05/2018	150	130	0	30	7,5
18/05/2018	20	30	10	30	7,5
25/05/2018	100	100	10	30	7,5
28/05/2018	50	70	0	40	8
1/06/2018	100	85	10	30	7,5
4/06/2018	17	85	0	30	7,5
5/06/2018	0	20	0	30	7,5
8/06/2018	120	120			
11/06/2018	150	140	0	50	8,5
13/06/2018	150	150	0	40	8
15/06/2018	20	30	0	30	8
18/06/2018	10	10	0	30	7,5
22/06/2018	20	50	0	30	7,5
25/06/2018	160	150	20	30	7
2/07/2018	160	150	20	30	7
4/07/2018	160	150	20	30	7
6/07/2018	160	150	20	30	7
11/07/2018	170	134	100	30	7,5
13/07/2018	10	10	100	40	8
16/07/2018	10	10	40	40	8
18/07/2018	0	17	35	90	11
23/07/2018	50	34	17	170	12
25/07/2018	100	68	0	160	11
27/07/2018	0	30	20	80	8
1/08/2018	180	150	30	40	7,5

Continuación de la tabla XX.

6/08/2018	170	140	85	30	7,5
8/08/2018	170	150	20	30	7
10/08/2018	20	20	-----	-----	---
31/08/2018	170	150	70	30	7
17/09/2018	170	110	10	80	10
18/09/2018	17	35	17	80	10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Promedio de los análisis químicos realizados al agua de las calderas**

Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua salida de suavizadores (0 )ppm	Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua tanque condensado (0 )ppm	Dureza (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua interior (0 )ppm	Alcalinidad (ppm como CaCO <sub>3</sub> ) Agua interior caldera (200 <sub>Min</sub> –800 <sub>Max</sub> )ppm	pH (10 <sub>Min</sub> –12 <sub>Max</sub> )
90	85	20	50	8

Fuente: elaboración propia.

- Resumen tabla XXI
  - Los análisis químicos realizados en las distintas fechas muestran que los parámetros del agua que es suministrada a la caldera son críticos ya que sobrepasan los límites permitidos en una caldera.
  - Promedio dureza (ppm como CaCO<sub>3</sub>) agua salida suavizadores, 90 ppm, este dato indica que el funcionamiento de los suavizadores no es constante, esto debido a que actualmente solo se suministra la

mitad del total de sal requerida por los suavizadores a la hora de regenerar, trabajando únicamente un aproximado de 15 días con agua suave durante el mes, además, cabe mencionar que estos suavizadores proporcionan el 95 % del agua que demanda la caldera esto debido a la falta de retornos de condensados. El sistema automatizado que permite el suministro de agua al tanque de condensado se encuentra deshabilitado por la falta de una electroválvula, por lo que el llenado del tanque de condensado se realiza de forma manual dando como resultado que el tanque se rebalse y se desperdicie el agua que ha sido tratada por los suavizadores, dando como resultado que los 15 días que se contaba con agua suave disminuyan considerablemente.

- Promedio dureza (ppm como  $\text{CaCO}_3$ ) agua tanque condensado es de 85 ppm cuando lo ideal es 0 ppm lo que puede provocar una incrustación severa en el interior de la caldera.
- Promedio dureza (ppm como  $\text{CaCO}_3$ ) en el agua del interior de la caldera 20 ppm, lo ideal es 0 ppm, este dato indica que existen fosfatos en el interior de la caldera resultado de que hay presencia de químico, que ayuda con la disminución de la dureza proveniente del agua de alimentación.
- Promedio de la alcalinidad (ppm como  $\text{CaCO}_3$ ) del agua del interior de la caldera es de 50 ppm de un mínimo de 200 ppm este dato nos indica que el agua de caldera tiene muy poca capacidad de contrarrestar la acidez del agua lo que puede provocar que existan ataques químicos en el interior de la caldera.
- El promedio del pH del agua en el interior de la caldera es 8, cuando lo ideal es 11 lo que nos comprueba que el agua en el interior de la caldera puede provocar corrosión química y favorecer con la

formación de espuma lo que puede provocar un arrastre de condensado.

- La temperatura del agua que es suministrada a la caldera oscila de 86 a 104 grados Fahrenheit.

## **2.6. Problemas causados por un mal tratamiento de agua de la caldera**

- **Incrustaciones**

Las incrustaciones corresponden a depósitos de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio, formados debido a una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación.

La presencia de incrustaciones en una caldera es especialmente grave debido a su baja conductividad térmica y este actúa como aislante térmico, provocando problemas de refrigeración de las superficies metálicas además de provocar una pérdida de eficiencia en la caldera.

Actualmente, la segunda caldera Kewanee boiler, pirotubular de 250 BHP, que se encuentra en el hospital se encuentra deshabilitada y se encuentra en proceso de reacondicionamiento, esta caldera se encuentra incrustada, lo que provocó que el espejo trasero de la cámara sufriera fatiga térmica y agrietamientos por una mala refrigeración en la cámara trasera ya que esta es una caldera de hogar refrigerado conocida también como de espalda mojada.

En la figura 26 se puede observar los tubos de fuego de la caldera Kewanee y las grietas existentes en cámara trasera.

Figura 26. **Caldera Kewanee boiler**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. Caldera Kewanee boiler.

- Corrosión por oxígeno o pitting

La corrosión por oxígeno consiste en la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (en contacto con el agua), provocando su disolución o conversión en óxidos insolubles.

Los resultados de este tipo de corrosión son tubérculos de color negro, los que se forman sobre la zona de corrosión.

En la figura 27 se pueden observar la corrosión por oxígeno en los tubos de humos de la caldera Kewanee Boiler.

Figura 27. **Tubos de humo caldera Kewanee Boiler**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios. Caldera Kewanee Boiler.

Corrosión línea de retorno de condensado: la corrosión en las líneas de retorno de condensado se produce por la acción del ácido carbónico que en esta se forma.

- Arrastre de condensado

El arrastre de condensado en una caldera tiene relación con el suministro de vapor húmedo (con gotas de agua). El suministro de vapor húmedo puede tener relación con deficiencias mecánicas y químicas. Las deficiencias mecánicas tienen relación con la operación con elevados niveles de agua, sobrecargas térmicas, variaciones bruscas en los consumos, entre otros.

Para prevenir el arrastre debido a deficiencias en el tratamiento de agua, se recomienda mantener los límites de los contenidos de alcalinidad, sólidos totales y sílice en los límites establecidos.

Actualmente, la caldera que se encuentra en funcionamiento es una caldera Cleaver brooks de 250 BHP la cual presenta problemas de incrustación, fugas del espejo trasero y delantero, además de estar suministrando un vapor de mala calidad debido al arrastre de condensado producto de un mal tratamiento de agua.

## 2.7. Ahorro de agua en el Hospital General San Juan de Dios

En el hospital diariamente se están desperdiciando agua debido al mal diseño y a los desvíos de la red de retornos de condensado hacia los drenajes de agua pluvial. A la hora que se logre implementar las mejoras y el rediseño de la red descritos en el capítulo tres de este trabajo de graduación se estará recuperando un 72 % del total de agua utilizada por las calderas, logrando un ahorro energético y prolongación de la vida de las mismas ya que se mejoraría la calidad del agua que es suministrada a caldera.

Tabla XXII. Cantidad de agua que será reutilizada por las calderas.

<b>Servicio</b>	<b>Cantidad de agua que será reutilizada diariamente (gal)</b>
Lavandería	1 956,36
Cocina	739,76
Autoclaves	222,88
<b>Total</b>	<b>2 919,00</b>

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de agua que se estará ahorrando diariamente el hospital con las mejoras y rediseño descritos en el capítulo 3 es de 2 919,00 galones de agua al día.

### 3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

#### 3.1. Recuperación de condensado, servicio de lavandería

Actualmente, la red de retorno de condensados de cada secadora ha sido desviada a los distintos drenajes existentes en el área de lavandería, dejando la tubería de retorno de condensado sin uso, la tubería principal de retorno de condensado es ANSI Sch80 con un diámetro de 2" y una tubería ANSI Sch40 con un diámetro de 1" para retorno de condensado de cada secadora, esta tubería actualmente se encuentra en buen estado.

- Cálculo de diámetro de tubería de retorno de condensado

Para conocer el diámetro ideal de la tubería principal y secundaria de retorno de condensado del servicio de lavandería se utilizó el software calculador de ingeniería, dimensionamiento de tubería para línea de recuperación de condensado por velocidad de TLV, la cual se encuentra disponible en línea: <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/>.

Datos para el diseño de la tubería principal de retorno de condensado:

Grado de la tubería:	ANSI Sch80
Presión en la entrada de la trampa de vapor:	90 psig
Carga de condensado teórico:	4 722,30 lb/h
Presión línea de recuperación:	20 psia
Longitud de tubería:	77 m (252,62 ft)
Velocidad máxima permisible:	147 ft/s
Resultado: diámetro interno de tubería	<b>1,94 in</b>

Datos para el diseño de la tubería secundaria de retorno de condensado:

Grado de la tubería:	ANSI Sch40
Presión en la entrada de la trampa de vapor:	90 psig
Carga de condensado teórico secadora:	568,79 lb/h
Presión línea de recuperación:	20 psia
Longitud de tubería:	13 ft
Velocidad máxima permisible:	65 ft/s
Resultado: diámetro interno de tubería	<b>1,04 in</b>

Como se pudo comprobar anteriormente la tubería de retorno de condensado instalada actualmente en el servicio de lavandería es la adecuada.

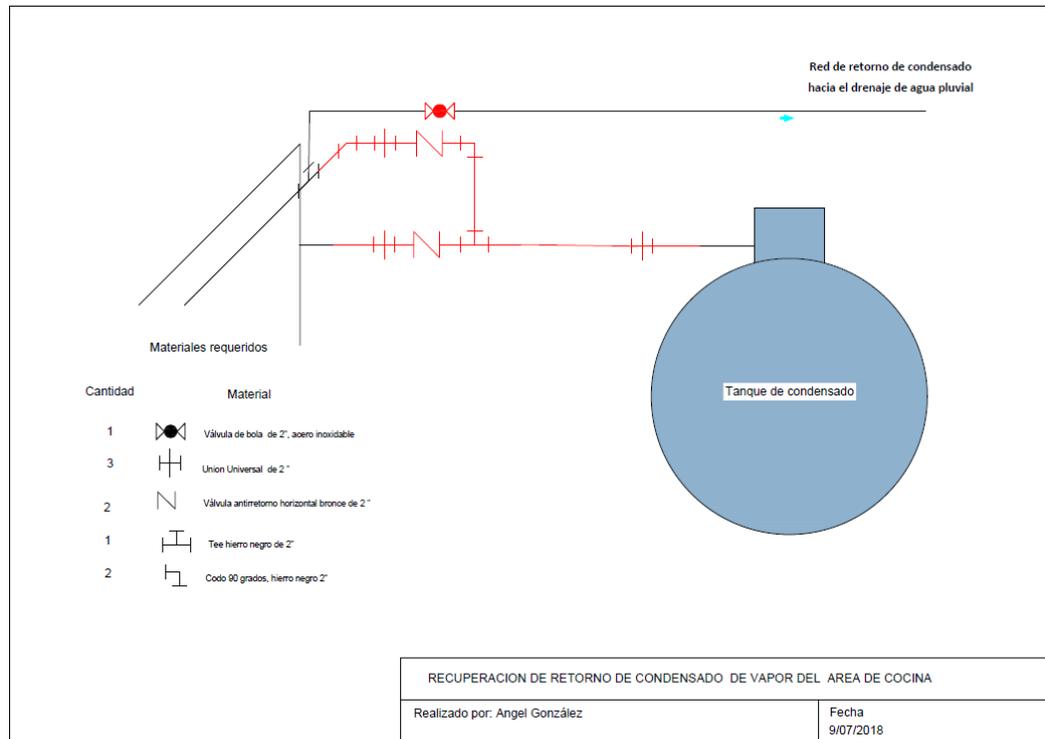
Para la recuperación del condensado se necesita quitar las desviaciones realizadas y reconectarse a las líneas de retorno existentes de condensado.

Además de recomienda, cambio de los filtros, trampas de vapor, cheques y válvulas que se encuentren en mal estado también se recomienda la colocación de cañuelas (material aislante) en todos los tramos donde se encuentre la tubería al descubierto y en mal estado, ASTM C547 recomienda, 2 pulgadas de espesor de las cañuelas para la red de vapor y 1 pulgada de espesor de la cañuela para la red de retornos de condensados, actualmente el hospital cuenta con los materiales necesarios para realizar estos cambios.

### **3.2. Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, servicio de cocina**

Para la recuperación de condensado del área de cocina se necesita realizar el siguiente rediseño en el área de calderas, ya que en esa área es donde pasa la tubería hacia el drenaje, este rediseño permitirá regresar estos condensados eficientemente al tanque de condensado.

Figura 28. **Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, servicio de cocina**



Fuente: elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

Tabla XXIII. **Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño de la red de retorno de condensado de las marmitas en el área de calderas**

Cantidad	Material	*Precio unitario Q	Total Q
1	Válvula de compuerta de 2"	3 100,00	3 100,00
3	Unión universal de 2" H.N	150,00	450,00
2	Válvula antirretorno horizontal bronce de 2"	1 200,00	2 400,00
1	Tee H.N de 2"	150,00	150,00
2	Codo 90 grados, H.N 2"	125,00	250,00
		<b>Total</b>	<b>Q6 350,00</b>

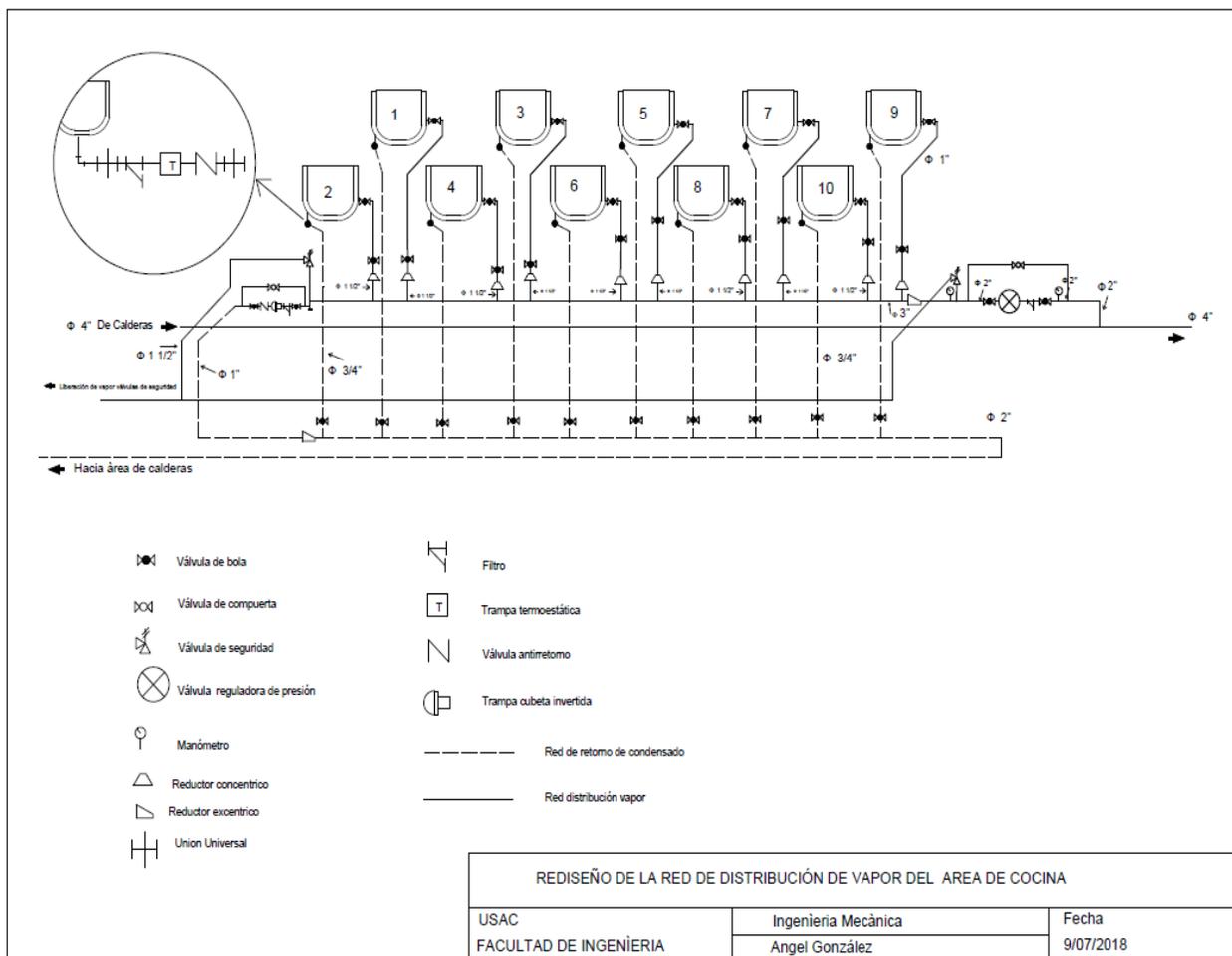
\* precios promedios

Fuente: elaboración propia.

- Rediseño de la red de distribución de vapor a las marmitas

Para darle solución a la ineficiencia en las marmitas por falta de caudal de vapor necesario y evitar el bloqueo en el sistema por gases no condensables se recomienda el siguiente rediseño.

Figura 29. **Rediseño de la red de distribución de vapor del área de cocina**



Fuente: elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

Tabla XXIV. **Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño de la red de distribución de vapor del área de cocina**

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>*Precio unitario Q</b>	<b>Total Q</b>
1	Tubo 3" H.N sin costura Cedula 40	694,00	694,00
2	Tee 3" H.N cedula 40	45,00	90,00
1	Reductor excéntrico 2" hembra a 3" hembra H.N cedula 40	150,00	150,00
1	Tapón 3" H.N cedula 40	30,00	30,00
1	Reductor céntrico 3" macho a 1" hembra H.N cedula 40	150,00	150,00
10	Weldolet para conectarse a tubo de 3" y salida para tubo de 1 ½" H.N	80,00	800,00
1	Weldolet para conectarse a tubo de 4" y salida para tubo de 2" H.N	100,00	100,00
3	Tubo 2" H.N sin costura Cedula 40	343,00	1 029,00
5	Tubo 1 1/2" H.N sin costura Cedula 40	266,00	1330,00
5	Tubo 1" H.N sin costura Cedula 40	174,00	870,00
5	Tubo 3/4 " H.N sin costura Cedula 40	124,00	620,00
4	Codo a 90 grados H.N cedula 40 de 2"	50,00	200,00
25	Codo a 90 grados H.N cedula 40 de 1 ½"	45,00	1 125,00
50	Codo a 90 grados H.N cedula 40 de 1"	20,00	1 000,00
30	Codo a 90 grados H.N cedula 40 de 3/4"	17,00	510,00
10	Trampas de vapor termostáticas	1 500,00	15 000,00
22	Válvulas de compuerta acero al carbono forjado 1"	760,00	16 720,00
11	Válvulas antirretorno horizontales 1"/uso vapor	1 000,00	11 000,00
11	Filtro acero inox. 1"	250,00	2 750,00
30	Unión universal H.N 1"	100,00	3 000,00
20	Unión universal H.N 3/4"	80,00	1 600,00
10	Válvulas de compuerta acero al carbono forjado, 3/4"	650,00	6 500,00
2	Válvula de seguridad 1 ½" 40 psi	1 000,00	2 000,00
1	Manómetro con cola de cerdo Spam (0-150)psi	200,00	200,00
1	Filtro acero inox. 2"	400,00	400,00
1	Válvula de globo 1 ½"/ uso vapor	1 100,00	1 100,00

Continuación de la tabla XXIV.

1	Manómetro con cola de cerdo Spam (0-50)psi	300,00	300,00
2	Válvulas de compuerta acero al carbono forjado. 2"	1 800,00	3 600,00
1	Reductor excéntrico 1" hembra a 2" hembra H.N	80,00	80,00
1	Válvula de globo 1" /Uso vapor	500,00	500,00
1	Trampa de cubeta invertida 1"	1 000,00	1 000,00
1	Válvula reguladora de vapor/ conexiones de 2"/presión de entrada 100psi, presión de salida 30psi/ caudal de vapor 900kg/h	16 000,00	16 000,00
90	Cañuela de fibra de vidrio	60,00	5 400,00
<b>Total Q.</b>			<b>95 848,00</b>

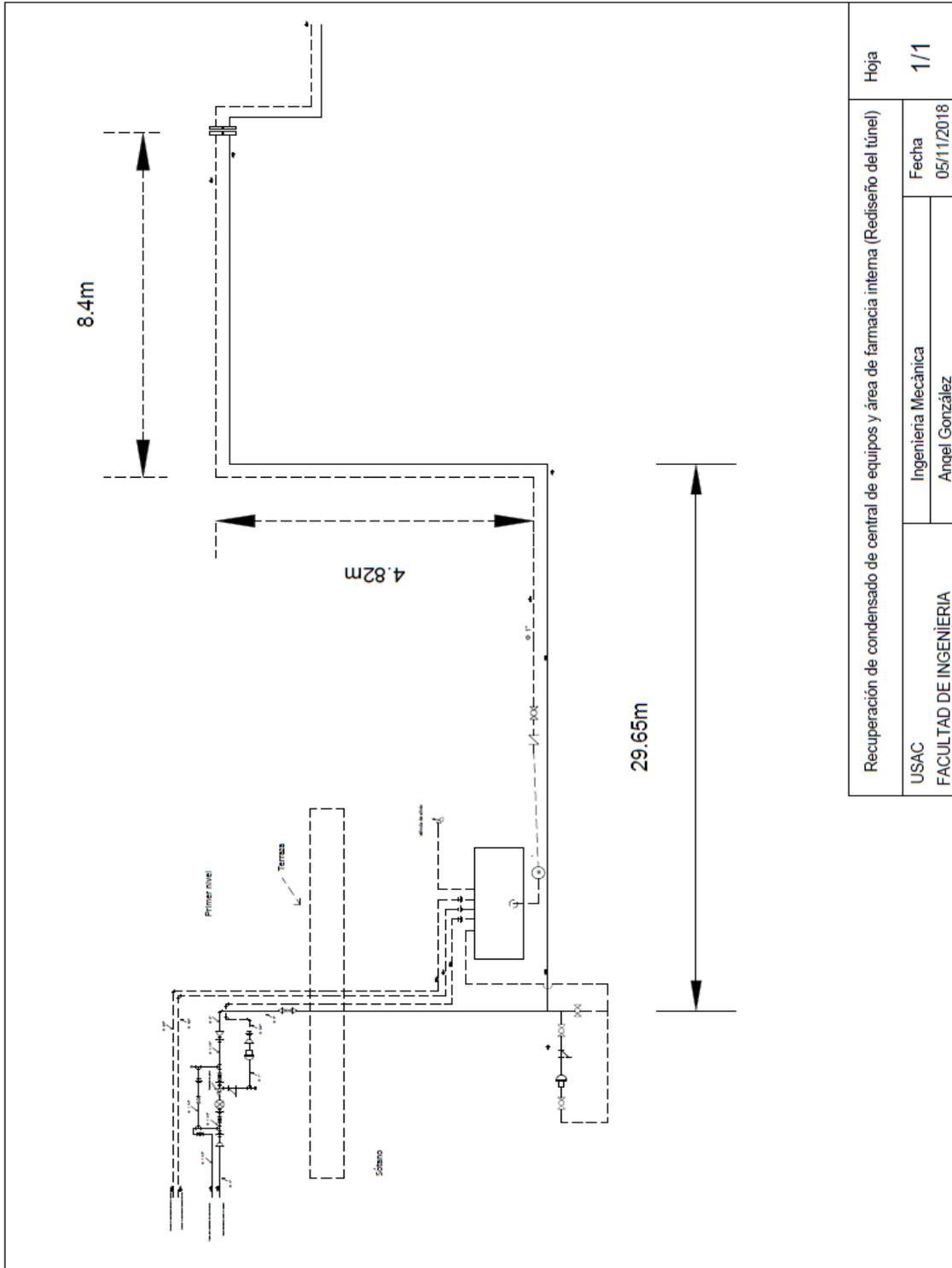
Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Rediseño de la red de retorno de condensado de vapor, central de equipos y farmacia interna**

Para la recuperación de condensado proveniente de la red de distribución de vapor de central de equipos y farmacia interna se necesita rediseñar la tubería que pasa por el túnel ya que se encuentra en mal estado producto de un mal drenado de condensado de las piernas colectoras existentes, lo que provocó un desgaste acelerado de la tubería por el transporte de condensados y golpes de arietes producto de los mismos.

Para darle solución a los problemas antes mencionados y retornar el condensado al tanque de alimentación de las calderas necesita implementar el siguiente rediseño que consiste en remplazar la tubería, sistemas de trampeo y restablecer el funcionamiento del pre-tanque de condensado (área del túnel), además de instalar una pierna colectora en el sistema de regulación de vapor de la autoclave de lactarios e instalar un tramo de 72 metros con una tubería de 1" y un aislamiento de fibra de vidrio con un espesor de 1" hasta el tanque de condensados en el área de calderas.

Figura 30. Rediseño del túnel



Fuente elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

Recuperación de condensado de central de equipos y área de farmacia interna (Rediseño del túnel)		Hoja
USAC FACULTAD DE INGENIERIA	Ingeniería Mecánica	1/1
	Angel González	
		Fecha
		05/11/2018

Tabla XXV. **Costo estimado de los materiales necesarios para el rediseño del túnel**

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Precio unitario Q</b>	<b>Total Q</b>
15	Tubo 3" H.N sin costura cédula 40	694, <sup>00</sup>	10 410, <sup>00</sup>
5	Codo 90 grados H.N cédula 40 de 3"	80, <sup>00</sup>	400, <sup>00</sup>
1	Tee 3" H.N cedula 40	80, <sup>00</sup>	80, <sup>00</sup>
3	Brida H.N ANSI 150 de 3" / soldadura a tope	250, <sup>00</sup>	750, <sup>00</sup>
1	Válvula de compuerta acero al carbono, bridada, 3"	2 000, <sup>00</sup>	2 000, <sup>00</sup>
3	Filtro de 1"/ acero inox. / para vapor	250, <sup>00</sup>	750, <sup>00</sup>
1	Bomba de 1Hp/ para agua a alta temperatura	3 500, <sup>00</sup>	3 500, <sup>00</sup>
1	Control de flote Mcdonnell y Miller con tablero de control	10 000, <sup>00</sup>	10 000, <sup>00</sup>
18	Tubo 1" sin costura, cédula 40	174, <sup>00</sup>	3 132, <sup>00</sup>
4	Unión universal H.N 1"	100, <sup>00</sup>	400, <sup>00</sup>
1	Trampa cubeta invertida 1"	1 000, <sup>00</sup>	1 000, <sup>00</sup>
2	Válvula antirretorno horizontal 1"/ uso vapor	1 000, <sup>00</sup>	1 000, <sup>00</sup>
1	Filtro de 1"/acero inox./ uso vapor	250, <sup>00</sup>	250, <sup>00</sup>
4	Válvulas de compuerta acero al carbono forjado 1"	760, <sup>00</sup>	3 040, <sup>00</sup>
90	Cañuela de fibra de vidrio diámetro 3", espesor 2"	100, <sup>00</sup>	9 000, <sup>00</sup>
95	Cañuela de fibra de vidrio diámetro 1", espesor 1"	67, <sup>00</sup>	6 365, <sup>00</sup>
<b>TOTAL Q</b>			<b>52 077,<sup>00</sup></b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Resumen de gastos generados por el desperdicio de condensado y estimación de costo para su rediseño

El gasto que se genera en las distintas áreas por el drenado de condensado de vapor en los drenajes de agua pluvial es aproximadamente de Q. 276 655,40.

Tabla XXVI. Resumen de gastos generados por el desperdicio de condensado

	<b>Gasto generado anualmente por el desperdicio de condensado (Q.)</b>
Servicio de lavandería	Q. 185 595,20
Servicio de cocina	Q. 70 160,30
Central de equipos y farmacia interna	Q. 20 899,90
<b>Total (Q.)</b>	<b>Q. 276 655,40</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Resumen de costos estimados de los materiales necesarios para los rediseños de la red de condensado

A la hora que el hospital logre implementar los rediseños mencionados en este capítulo, con el ahorro que se obtendrá en el consumo de diesel la inversión de los materiales que suma una cantidad de Q 154 275,00 se estará recuperando en un aproximado de 7 meses. Se toma solo el costo estimado en materiales ya que el hospital cuenta con la capacidad técnica de ejecutar los trabajos.

Tabla XXVII. **Resumen, costo estimado para la recuperación de condensado de vapor**

	<b>Costo estimado de los materiales para los rediseños (Q.)</b>
Recuperación de condensados del servicio de cocina	6 350,00
Rediseño red de vapor marmitas	95 848,00
Rediseño red de vapor área del túnel	52 077,00
<b>Total Q.</b>	<b>154 275,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.6. Mejoramiento de la calidad del agua que es suministrada a la caldera**

Cantidad de agua promedio que es suministrada a la caldera por hora son 289,56 galones, de los cuales con los rediseños planteados en este trabajo se logrará recuperar por hora 208,5 galones de condensado, lo que quiere decir que se estará ahorrando un 72 % de agua fresca, además, de reducir los costos del tratamiento de agua. Otro de los ahorros se obtendrá será debido a la reducción de números de purgas realizadas a la caldera debido a mejor calidad del agua de alimentación, también menor corrosión en el sistema porque la calidad del agua será constante en toda la red.

También se estará reduciendo la cantidad de 2,406 gal/h de combustible diesel, gracias a la recuperación de condensado, esto equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

Adicionalmente, las líneas de recuperación de condensado reducen las nubes de vapor, disminuyen el ruido generado por la descarga del condensado a la atmósfera y previenen la formación de charcos de condensado en el piso, mejorándose así el ambiente de trabajo en el hospital.

## **4. FASE DOCENCIA**

En esta fase se capacitó al personal que trabaja en calderas y al personal encargado del mantenimiento, acerca de la importancia del retorno de condensado y el funcionamiento de los distintos tipos de trampas existentes en el hospital. Entre los temas tratados se encuentran los siguientes:

### **4.1. Tratamiento de agua de las calderas**

El tratamiento del agua de una caldera de vapor es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes. El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera. El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y agua de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de una caldera son los siguientes:

- pH

El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión.

- Dureza

La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.

- Oxígeno

El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.

- Hierro y cobre

El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.

- Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorece la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno. La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO<sub>2</sub> se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.

- Fosfato

El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.

- Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en el agua. Sólidos en suspensión. Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.

- Secuestrantes de oxígeno.

Los secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidrazina, hidroquinona, entre otros.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.

- Sílice

La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

- Alcalinidad

Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.

- Conductividad

La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

Tabla XXVIII. **Parámetros recomendados agua de alimentación para calderas**

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
pH	10.5-12
Dureza total (ppm)	0
Total sólidos disueltos (ppm)	3000 MAX
Sulfitos (ppm)	20-40
Alcalinidad parcial (ppm)	300-600
Alcalinidad total (ppm)	200-700
Cloruros (ppm)	300 MAX
Fosfatos (ppm)	20-40

Fuente: ABMA. *Norma británica BS 2486, Requerimientos agua caldera.*

- Condiciones que debe cumplir el agua de alimentación de las calderas
  - Debe ser clara, con la turbidez inferior a 10 ppm. Cuando esta turbidez es superior, debe ser sometida a filtración.
  - Debe estar totalmente exenta de dureza no carbónica.
  - La dureza total no debe exceder de 35 ppm.
  - Debe estar prácticamente exenta de aceites.
  - Debe estar prácticamente exenta de oxígeno.
  - Debe tener un bajo contenido de sílice.
  
- Clasificación de las impurezas

Las impurezas que suele traer consigo el agua sin tratamiento se pueden clasificar en la siguiente forma:

- Sólidos en suspensión: barro (arcilla), materias orgánicas (madera y bacterias) y arena (sílice).
  - Sales disueltas: sales de calcio, magnesio y cloruros de sulfatos alcalinos.
  - Gases disueltos: aire (oxígeno-nitrógeno) y anhídrido carbónico.
- Efectos provocados por las impurezas en el agua

El barro y otros sólidos se depositan en el fondo de la caldera, formando un depósito fangoso que facilita el sobrecalentamiento de las planchas inferiores. Estos sobrecalentamientos provocan deformaciones que pueden ser altamente peligrosas. Se eliminan estos depósitos a través de las extracciones de fondo (purgas de fondo) que deben hacerse al final de cada turno, hasta eliminar toda el agua turbia. Lo ideal es eliminar estas impurezas antes que el

agua ingrese a la caldera, ya sea a través de una filtración o decantación. Para el caso de las materias orgánicas se procede a agregar pequeñas cantidades de hipoclorito de sodio. En general, el agua potable que suministran las empresas de agua potable ya ha sido sometida a este tratamiento.

Las sales de calcio y magnesio, disueltas en el agua con que se alimenta la caldera, se descomponen y se adhieren a las superficies más calientes de la caldera, especialmente en los tubos en forma de costras duras llamadas incrustaciones, lo que entorpece la transmisión del calor, permitiendo el sobrecalentamiento de estas superficies metálicas y posibles explosiones.

- Dureza en el agua

La dureza del agua está determinada por la cantidad de sales de calcio y magnesio que contenga. Mientras más sales de calcio y magnesio tengan, mayor será su dureza. La dureza es una característica perjudicial para las calderas.

Existen dos tipos de durezas, según sea la forma en que se comporte el agua al hervir.

- Dureza temporal: es la formada por sales de calcio y magnesio. Cuando el agua hierve se precipitan a fondo.
- Dureza permanente: es la formada por sales solubles en el agua. Durante la ebullición no sufren cambios, pero a medida que esta se evapora sufre el grado de concentración decantando y formando incrustaciones.

La suma de la dureza temporal y la permanente se llama dureza total. Generalmente las industrias controlan la cantidad del agua de sus calderas por análisis de muestras que realizan en sus propios laboratorios y/o a través de la asesoría externa de alguna firma especializada. Sin embargo, algunas empresas, además de estos métodos, poseen un equipo portátil que maneja el propio operador de la caldera para controlar diariamente tanto la dureza (salinidad) como el pH (alcalinidad y acidez) del agua.

- Alcalinidad del agua

Con el fin de evitar la corrosión de las partes metálicas de la caldera debido a la presencia de oxígeno y anhídrido carbónico en el agua, se recurre a la medición del grado de alcalinidad o acidez. Para ello se ha ideado una escala de valores pH (concentración de iones de hidrógeno) entre 0 y 14.

- pH entre 0 y 6 indica agua ácida.
- pH igual a 7 indica agua neutra.
- pH igual 8 y 14 indica agua alcalina.

Se recomienda que el pH del agua de caldera sea superior a 7 (agua neutra o alcalina) y, en lo posible, superior a 10,5 y menor a 12.

- Concentración de sólidos totales disueltos y en suspensión

La concentración permisible de sólidos en suspensión no debe sobrepasar el 20 % del total de sólidos (disueltos y en suspensión). En general, la concentración máxima tolerable de TDS no debe ser superior a 3 500 ppm.

- Cloruros

Es una indicación muy aproximada de la concentración relativa de todos los minerales disueltos en el agua. Los valores permisibles dependen de la presión de trabajo, estimándose como adecuado para calderas de baja presión un máximo de 300 ppm de cloruros. Este control se utiliza para determinar los ciclos de concentración de la caldera que a su vez determina la cantidad de purgas o extracciones.

- Sulfitos

Es una indicación de la protección contra las oxidaciones. Se recomienda 15 a 40 ppm de sulfitos.

- Fosfatos

Es necesario mantenerlos permanentemente entre 20 a 40 ppm para asegurar la eliminación de dureza.

#### **4.2. Utilización del *test-kit* Taylor de análisis de calidad de agua**

Para el control de los parámetros del agua de la caldera el hospital cuenta con un equipo portátil marca Taylor que se utiliza para medir la dureza, la alcalinidad y el PH.

- Titulación de la dureza total

Los envases en que se toman las muestras de agua deben estar totalmente limpios y enjuagarse con la misma agua que se analizará. La

muestra de agua debe tomarse del interior de la caldera (del tubo de nivel o del fondo), teniendo la precaución de purgar bien, hasta que salga el agua que represente realmente la que contiene la caldera.

- Paso 1

Para obtener resultados en partes por millón (ppm) se llena con la probeta hasta la marca (25 ml) con el agua de muestra, Si los resultados se desean en granos por galón (gpg) se llena con la probeta hasta la marca (14,6 ml) con el agua de muestra.

Figura 31. **Probeta a 25ml**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 2

Añadir 5 gotas del indicador de dureza R-0619B. y mover para mezclar.

Figura 32. **Indicador de dureza R-0619B.**

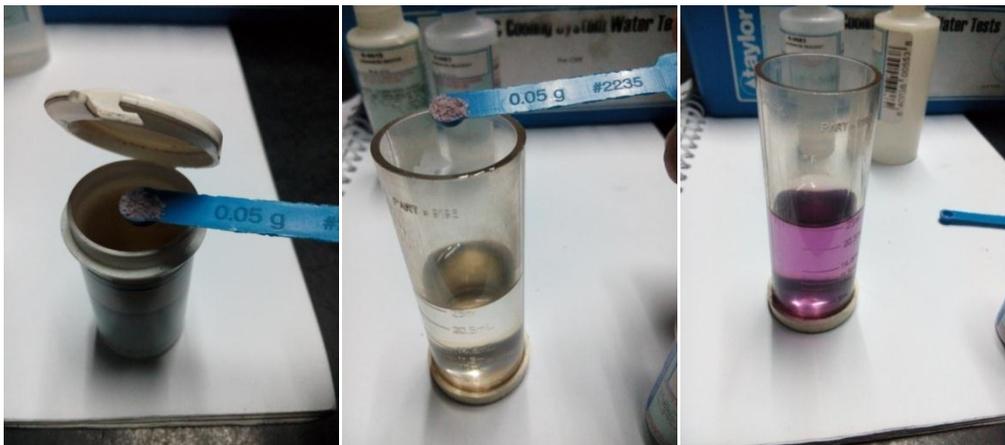


Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 3

Añadir una cucharadita (0,05g) de polvo indicador de dureza R-0620B, mezclar hasta disolver. Si hay dureza presente se tornara de color rojo.

Figura 33. **Indicador de dureza R-060B**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 4

Agregar el indicador de dureza R-0683 gota a gota, agitando y contando después de cada gota, hasta que el color cambie de rojo a azul.

Figura 34. **Indicador de dureza R-0683**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 5

Multiplicar las gotas de indicador de dureza R-0683 por 10, el dato obtenido será la dureza total como carbonatos de calcio.

- Titulación de la alcalinidad Parcial / Total

Llenar la probeta hasta la marca de 25 ml con el agua de muestra. Nota: para resultados en granos por galón (gpg) llenar la probeta hasta la marca de 14,6ml.

Figura 35. **Probeta a 25ml**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 1

Añadir 3 gotas del indicador fenolftaleína R-0638G, revolver para mezclar. La muestra se tornará de color rosado si hay alcalinidad parcial- continuar con el paso 3, si se encuentra incoloro continuar con el paso 4.

Figura 36. **Indicador fenolftaleína R-0638G**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 2

Si la muestra tiene color rosado, añadir indicador R-0687G ácido sulfúrico 12N, agitando y contando después de cada gota, hasta que el color cambie de rosado a incoloro, registre las gotas como alcalinidad parcial.

Figura 37. **Indicador R-0687G ácido sulfúrico 12N**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 3

Añadir 5 gotas de indicador de alcalinidad total R-0645, la mezcla se tornará verde.

Figura 38. **Indicador de alcalinidad total R-0645**

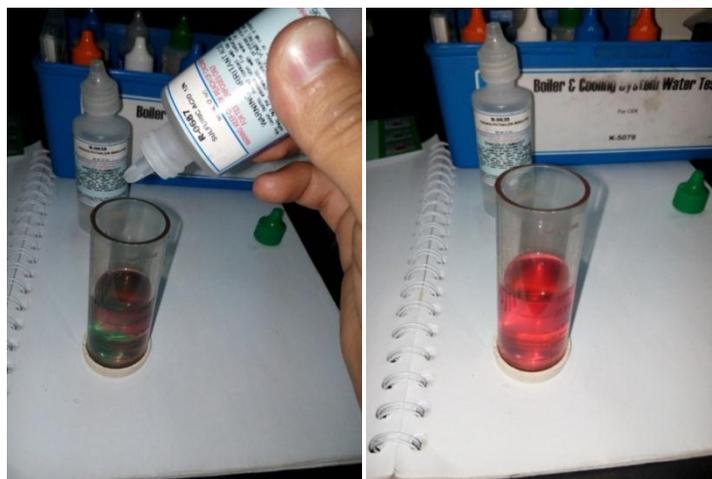


Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 4

Añadir indicador R-0687G ácido sulfúrico 12N, agitando y contando después de cada gota, hasta que el color cambie de verde a rojo, registre las gotas como alcalinidad total.

Figura 39. **Indicador R-0687G ácido sulfúrico**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Determinación del pH

En la determinación práctica del pH se pueden emplear papeles impregnados (papeles pH) con colorantes especiales que indican su valor al adquirir determinados valores.

- Paso 1

Llenar la probeta con el agua de muestra con una cantidad mayor o igual a 25 ml.

Figura 40. **Probeta a 25ml**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 2

Introducir el papel pH y esperar 30 segundos.

Figura 41. **Papel pH**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

- Paso 3

Sacar el papel pH y compara el color que se obtuvo con la escala de colores que mide el pH, de esta manera se sabe el valor de pH del agua de muestra.

Figura 42. **Escala de colores medidor de pH**



Fuente: Hospital General San Juan de Dios.

## CONCLUSIONES

1. El mal diseño actual y el mal estado de la red de retornos de condensados en el Hospital General San Juan de Dios genera un costo anual de Q. 276 655,40 que se van al drenaje de agua pluvial en forma de condensado no reutilizado.
2. El costo estimado de los materiales y accesorios para la realización de los rediseños que permiten reutilizar los condensados de vapor como agua de alimentación de las calderas es de Q.154 275,00.
3. Con el ahorro que se obtendrá en el consumo de diésel la inversión de los materiales que suman una cantidad de Q.154 275,00 se estarán recuperando en 7 meses.
4. Teniendo capacitado al personal de calderas y al de mantenimiento, se logra un mejor control en el tratamiento del agua de las calderas evitando con ello la incrustación y corrosión de las calderas.



## RECOMENDACIONES

1. Al subdirector de mantenimiento se le recomienda ser más estricto y cumplir con los protocolos ya establecidos para la contratación de empresas dedicadas al mantenimiento del hospital, además se recomienda que la persona encargada de supervisar dichos mantenimientos conozca los equipos y tenga el conocimiento adecuado y así garantizar un buen trabajo. Ya que la contratación de empresas no capacitadas para la realización de los diferentes mantenimientos a provocados un deterioro acelerado de los distintos equipos de lavandería.
2. Al supervisor del área de calderas se le recomienda la instalación de 2 filtros de carbón activado con una capacidad individual de 90 litros por minuto, esto con el fin de eliminar el cloro presente en el agua y así alargar la vida útil de la resina catiónica de los suavizadores.
3. A operadores del área de calderas se recomienda la limpieza bimestral de los filtros de agua que se encuentran en la entrada de las bombas de agua que alimentan las calderas, ya que a la hora de recuperar el condensado de los diferentes servicios pueden arrastrar gran cantidad de partículas que pueden tapar y perjudicar el funcionamiento normal de las bombas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. SpiraxSarco. *Distribución de vapor: Guía de referencia térmica* [en línea]. <[https://jrguezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/distrib\\_vapor.pdf](https://jrguezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/distrib_vapor.pdf)>. [Consulta: abril de 2018].
2. PALACIOS MARTÍNEZ, Henry Marot. *Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno del condensado para el Hospital General San Juan de Dios*, Guatemala. Trabajo de graduación, facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2011.
3. Ente Regional de la Energía de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. [en línea]. <[https://energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100Detalle/1273563855326/\\_/1284159036625/Redaccion](https://energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100Detalle/1273563855326/_/1284159036625/Redaccion)>. [Consulta: abril de 2018].
4. Thermal Engineering Ltda, Providencia 2133, Of, 207, Santiago Chile. Fono: 56-2-3347402. p.18.
5. TLV. *Aplicaciones principales del vapor*. [en línea]. <<https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>>. [Consulta: abril de 2018].
6. ABARCA, Pedro. *Aguas de alimentación de calderas* [en línea] <<https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFic>>

has/Documents/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf>. [Consulta: septiembre de 2018].

7. GARZA. Carlos. *Errores típicos en el diseño y operación de los sistemas de vapor*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/vibrainc/errores-tpicos-en-el-diseo-y-operacin-de-los-sistemas-de-vapor-saturado-en-las-plantas-industriales>>. [Consulta: junio de 2018].

## ANEXO

### Anexo 1. Ecuación

#### Ecuación No. 1

$$Q_r = \frac{2\pi(T_s - T_{am})}{\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{d_1 + 2L}{d_1}\right) + \frac{2}{\alpha(d_1 + 2L)}}$$
$$m_c = \frac{3.6 \cdot Q_r}{\Delta H} \cdot l$$

Donde:

L = espesor de aislamiento (m)

T<sub>am</sub> = temperatura ambiente (°C)

α = coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>-K)

λ = coeficiente de conductividad térmica (W/m-K)

m<sub>c</sub> = carga de condensado (kg/h)

Q<sub>r</sub> = calor radiante (W/m)

d<sub>1</sub> = diámetro externo de tubería (m)

Fuente: TLV. *Carga de condensado de la pérdida de calor por radiación en la tubería*. [en línea]. <<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html>>.

[Consulta: junio de 2018].

