



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

**AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**Ricardo Nehemias Barrientos Lorenzana**  
Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Guatemala, febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RICARDO NEHEMIAS BARRIENTOS LORENZANA**  
ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Cristian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 24 de julio de 2015.



**Ricardo Nehemias Barrientos Lorenzana**

Guatemala 03/06/2016

Ingeniero Juan José Peralta Dardón  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial

Ingeniero Juan José

Por este medio hago constar, que tuve a bien revisar el trabajo de graduación del estudiante universitario, Ricardo Nehemias Barrientos Lorenzana, carné 2001-17667 en el tema "AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS" el cual considero cumple con los objetivos propuestos al inicio del mismo.

Por lo cual apruebo el presente, para que siga el proceso correspondiente.

Agradeciendo su atención a la presente me suscribo de usted:

  
Ing. Efraim Paiz  
Colegiado 7675

Ing. Efraim Paiz Cano



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Nehemias Barrientos Lorenzana**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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

*Miriam Patricia Rubio de Akú*  
INGENIERA INDUSTRIAL  
COL. 4074

Guatemala, agosto de 2016.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Nchemias Barrientos Lorenzana**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2017.

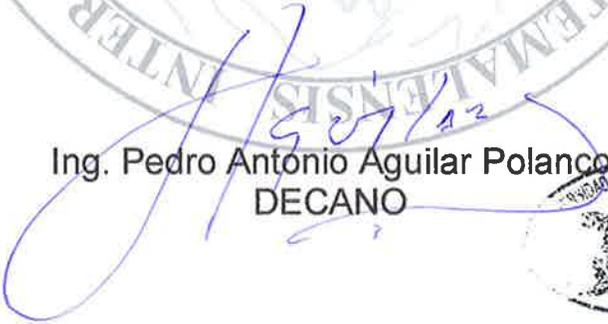


/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **AHORRO ENERGÉTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por el estudiante universitario: **Ricardo Nehemias Barrientos Lorenzana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO



Guatemala, febrero de 2017

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios Padre, Hijo y  
Espíritu Santo**

Por darme la vida, sabiduría, fuerza y los recursos para terminar con éxito la carrera.

**Mis padres**

José Vicente Barrientos, Marta Silvia Lorenzana.  
Por darme su apoyo y guiarme por el camino del bien y la superación. Dios les bendiga por todo.

**Mi esposa**

Silvia Aguilar y familia. Gracias por el cariño y las palabras de aliento.

**Mi hijo**

Matías Barrientos. Con mucho cariño.

**Mis hermanos**

Marlon, Moisés, Jennifer, Paola y Geovani.  
Gracia por su apoyo, Dios los bendiga.

**Mis sobrinos**

Con cariño, Dios los bendiga.

**Mis tíos**

En general, por sus sabios consejos.

**Mis primos**

Con cariño, les deseo lo mejor hoy y siempre.

**Mis abuelos**

Aunque no estén físicamente su recuerdo siempre estarán en mi mente.

**Mis cuñados**

Con cariño, Dios los bendiga.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por abrir sus puertas y brindarme los conocimientos necesarios para forjar mi vida profesional.
<b>Los catedráticos</b>	Gracias por compartir sus conocimientos siempre.
<b>Hospital General San Juan de Dios</b>	Por darme la oportunidad de realizar el trabajo de graduación.
<b>Mi asesor</b>	Efraín Paiz Cano. Gracias por su paciencia y comprensión.
<b>Mis padrinos</b>	Gracias por compartir sus conocimientos.
<b>Departamento de mantenimiento</b>	Gracias por la ayuda y el apoyo brindado dentro del hospital.
<b>Mis compañeros de estudio</b>	Mario Menegazo y Tania Barrientos, con cariño.
<b>Mis amigos</b>	En general por estar endientes y no negar la ayuda.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Historia del Hospital Nacional San Juan de Dios .....	1
1.2. Servicios médicos de apoyo .....	3
1.2.1. Departamento de anestesiología .....	3
1.2.2. Departamento de área verde (quirófanos).....	4
1.2.3. Departamento de consulta externa adultos .....	4
1.2.4. Departamento de cirugía general .....	5
1.2.5. Departamento de traumatología y ortopedia .....	5
1.2.6. Departamento de banco de sangre .....	6
1.2.7. Departamento de enfermería.....	7
1.2.8. Departamento de farmacia interna .....	7
1.2.9. Laboratorio clínico .....	7
1.2.10. Medicina física y rehabilitación .....	8
1.2.11. Departamento de nutrición y dietética .....	9
1.2.12. Gerencia de mantenimiento .....	9
1.3. Distribución de vapor.....	10
1.3.1. Definición.....	11
1.3.2. Generalidades .....	11

1.4.	Energía .....	14
1.4.1.	Definición .....	14
1.4.2.	Lineamientos.....	15
1.4.3.	Tipos .....	16
2.	SITUACIÓN ACTUAL .....	19
2.1.	Capacidad del hospital.....	20
2.2.	Caldera de vapor.....	20
2.2.1.	Válvula de retención (cheque).....	21
2.2.2.	Válvula de compuerta.....	21
2.2.3.	Válvula de globo.....	22
2.2.4.	Válvula de seguridad.....	23
2.2.5.	Válvula reguladora de presión.....	24
2.2.6.	Trampas de vapor .....	24
2.2.7.	Manómetros .....	25
2.2.8.	Termómetros .....	26
2.2.9.	Presostatos .....	26
2.2.10.	Filtros.....	27
2.2.11.	Bomba de alimentación de agua .....	28
2.2.12.	Bomba de alimentación de diésel.....	29
2.2.13.	Quemador y chimenea .....	29
2.2.14.	Temperatura y presión de operación.....	30
2.3.	Uso de vapor.....	30
2.3.1.	Área de nutrición y dietética .....	31
2.3.2.	Área de lavandería .....	32
2.3.3.	Área de central de equipos y esterilización .....	33
2.4.	Red de distribución de vapor.....	33
2.4.1.	Tipo de tubería .....	34
2.4.2.	Aislantes térmicos .....	35

	2.4.3.	Uniones .....	36
	2.4.4.	Fugas.....	37
	2.4.5.	Válvulas .....	38
	2.4.6.	Trampas de vapor.....	39
	2.5.	Drenaje de vapor .....	41
	2.6.	Pérdidas de vapor .....	42
3.		PROPUESTA PARA DETERMINAR EL AHORRO ENERGÉTICO .....	43
	3.1.	Estudio de causa y efecto.....	43
	3.1.1.	Equipos auxiliares de caldera .....	45
	3.1.2.	Área de nutrición y dietética.....	45
	3.1.3.	Área de lavandería .....	46
	3.1.4.	Área de central de equipos .....	46
	3.1.5.	Costos directos e indirectos.....	46
	3.2.	Propuesta de optimización energética.....	46
	3.2.1.	Nuevo material para tuberías.....	47
	3.2.2.	Nueva red de distribución .....	47
	3.2.3.	Dimensiones apropiadas en los diámetros de la tubería .....	49
	3.2.4.	Aislantes térmicos.....	53
	3.2.4.1.	Área de lavandería .....	53
	3.2.4.2.	Área de nutrición y dietética.....	56
	3.2.4.3.	Área de central de equipos y esterilización .....	57
	3.2.5.	Revisión y acoplamiento de las especificaciones ..	58
	3.2.5.1.	Drenaje e ingreso de vapor.....	58
	3.2.5.2.	Uniones .....	59
	3.2.5.3.	Trampas de vapor.....	60
	3.2.5.4.	Válvulas .....	60

	3.2.5.5.	Manómetros .....	60
	3.2.5.6.	Presión de trabajo de equipos .....	61
3.3.		Factores económicos .....	61
	3.3.1.	Costo de la producción de vapor .....	61
	3.3.2.	Costo por pérdidas de vapor .....	61
	3.3.3.	Costos indirectos .....	64
	3.3.4.	Inversión .....	68
	3.3.4.1.	Cuarto de máquinas .....	68
	3.3.4.2.	Lavandería .....	68
	3.3.4.3.	Área de retorno de condensado .....	69
	3.3.5.	Beneficios térmicos y económicos .....	69
	3.3.6.	Optimización del tiempo .....	71
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	73
	4.1.	Desarrollo sostenible .....	73
	4.1.1.	Estrategia de gestión económica .....	74
	4.2.	Mantenimiento .....	76
	4.2.1.	Mantenimiento correctivo .....	76
	4.2.2.	Mantenimiento preventivo .....	77
	4.2.3.	Mantenimiento predictivo .....	78
	4.2.4.	Plan de mantenimiento .....	79
	4.3.	Fatiga de los equipos .....	83
	4.3.1.	Tiempo de vida útil de los equipos .....	84
	4.4.	Ahorro de agua potable .....	85
	4.5.	Protección de la capa de ozono .....	87
	4.6.	Implementación de sistemas de reciclaje .....	88
	4.6.1.	Reciclaje de papel y cartón .....	88
	4.6.2.	Reciclaje de plástico .....	91

5.	MEJORA CONTINUA .....	95
5.1.	resultados .....	95
5.1.1.	Interpretación de los resultados.....	96
5.1.2.	Alcance.....	98
5.1.3.	Mejora .....	98
5.2.	Estadísticas. ....	100
5.2.1.	Mantenimiento .....	100
5.2.1.1.	Mensual .....	101
5.2.1.2.	Semestral.....	103
5.2.1.3.	Anual .....	104
5.3.	Auditorías .....	106
5.3.1.	Internas .....	108
5.3.2.	Externas .....	109
5.4.	Beneficio/costo .....	110
	CONCLUSIONES .....	113
	RECOMENDACIONES .....	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	121
	ANEXOS .....	125



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación satelital del hospital san Juan de Dios .....	19
2.	Diagrama de causa y efecto .....	45
3.	Diagrama de equipo del área de nutrición y dietética (planta) .....	48
4.	Diagrama de equipo área de nutrición y dietética (perfil) .....	49
5.	Clasificación de depósitos de basura.....	93

### TABLAS

I.	Resumen de beneficios.....	70
----	----------------------------	----



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
∅	Diámetro
°	Grado
°C	Grados Celcius
h	Hora
≅	Igual o aproximadamente
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramo
Kj	Kilojoules
Lbf	Libras fuerza
m	Metros
N	Newton
Pabs	Presión absoluta
γ	Peso específico
%	Porcentaje
PSI	<i>Pounds Square Inch</i> (libras por pulgada cuadrada)
pulg	Pulgada
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos



## GLOSARIO

<b>BTU</b>	Es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.
<b>Calor latente</b>	Se define como la cantidad de calor que necesita una sustancia para pasar del estado sólido al líquido o de líquido a gas, sin cambio de temperatura.
<b>Conducción</b>	Es el calor transferido a través de un sólido, debido a un gradiente de temperatura, sin desplazamiento apreciable de partículas.
<b>Corrosión</b>	Es el desgaste lento de los sólidos, especialmente en los metálicos, por ataque químico.
<b>Factor de fricción</b>	Es un parámetro adimensional que se utiliza para calcular la pérdida de energía en una tubería debida a la fricción.
<b>Kilocaloría</b>	Unidad de energía igual a la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado centígrado.

<b>Número de Reynolds</b>	Es un número adimensional utilizado para caracterizar el movimiento de un fluido a través de relacionar variables del flujo.
<b>Rugosidad absoluta</b>	Variación media del diámetro interno de la tubería.
<b>Rugosidad relativa</b>	Se define entre el cociente de entre la rugosidad absoluta y el diámetro interno de la tubería.
<b>Vapor húmedo</b>	Es el que contiene, partículas de líquido no vaporizado que es arrastrado en la línea de distribución de vapor.
<b>Vapor saturado</b>	Es el vapor que se desprende cuando el líquido está en el punto de ebullición.
<b>Viscosidad</b>	Es una magnitud física, que mide la resistencia al flujo de un fluido.
<b>Viscosidad absoluta</b>	Representa la viscosidad dinámica y se encarga de medir el tiempo en que un fluido, recorre un tubo capilar a determinada temperatura.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación se expone en cinco capítulos. El primero referido a los antecedentes que incluye una breve historia del Hospital General San Juan de Dios.

En estos capítulos se enumeran los elementos de la red de distribución de vapor en la institución mencionada y que fueron objeto particular de este estudio.

Luego de enunciar los elementos de la red, se describe la situación actual del hospital General San Juan de Dios, la cual permite visibilizar una panorámica de elementos básicos que conforman la red de distribución de vapor.

Se trabajó en la forma para ahorrar energía dentro de la red de distribución de vapor. Buscando solución a los problemas encontrados y esquematizados en el diagrama de causa y efecto.

Se propuso cómo implementar algunos principios de mantenimiento para mantener una red óptima y, por último, se trabajó en algunos puntos importantes para tener una mejora continua dentro del Hospital General San Juan de Dios.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio para optimizar el vapor utilizado en los equipos del Hospital Nacional San Juan de Dios, en las áreas de Lavandería, Nutrición y Dietética y Central de equipos.

## Específicos

1. Verificar la presión, temperatura y calidad de vapor, a la que deben trabajar los equipos para lograr un rendimiento óptimo.
2. Identificar los puntos donde se puedan encontrar pérdidas de vapor en el sistema.
3. Supervisar los equipos que se usan en la distribución de vapor, como trampas de llaves de paso y válvulas, para determinar cuántos de ellos necesitan mantenimiento o cambio.
4. Determinar el tipo de material apropiado para el sistema de tuberías y su protección térmica.
5. Proponer mejoras a la seguridad en las áreas de trabajo.

6. Plantear propuestas para automatizar el sistema de drenaje de condensado.
7. Determinar los posibles ahorros en costos de distribución del vapor.

## INTRODUCCIÓN

El Hospital Nacional San Juan de Dios cuenta con diversas áreas que utilizan vapor para llevar a cabo sus procesos. Usando la herramienta de causa y efecto o espina de pescado se estudió cada una de estas áreas para determinar los puntos donde el hospital pierde energía térmica, por problemas en la red de distribución de vapor.

Las pérdidas de energía en el hospital representan incrementos de costos directos e indirectos y generan molestias en los trabajadores, ya que los equipos no funcionan adecuadamente. Esto les impide cumplir con la demanda del servicio que la institución debe brindar. Cada área fue analizada por medio de un estudio de causa y efecto el cual arrojó los resultados siguientes:

- Fugas de vapor en el cuarto de máquinas
- Falta de aislante térmico en lavandería
- Problemas de producción en nutrición y dietética, por diseño inapropiado
- Humedad en las autoclaves de central de equipos y esterilización
- Aislante térmico en mal estado en el túnel.

La base de este estudio fue una auditoria energética la cual consiste en el análisis de la situación energética para determinar cómo y dónde se utiliza la energía en sus distintas formas. Busca identificar la demanda, los recursos, los equipos que usan la energía y las oportunidades para minimizar el consumo.

A partir de los análisis anteriores, se proponen acciones que ayudarán a mantener en buen estado la red de distribución de vapor, para generaciones presentes y futuras. Además, se demuestra cómo el ahorro energético puede ayudar a cuidar el ambiente al reducir el consumo de diésel, lo cual contribuye a que se produzca menor cantidad de dióxido de carbono.

Entre las acciones más relevantes está la determinación de las causas que generan pérdidas de vapor en el sistema. Entre ellas están las fugas en el cuarto de máquinas, ausencia y deterioro del aislante térmico en lavandería, cuarto de máquinas, el túnel y nutrición y dietética. Las pérdidas de vapor en las tuberías se deben a que el calor se transfiere hacia las paredes de los tubos porque estos carecen de aislante térmico. El condensado que se genera se retira de la red por las trampas de vapor y genera pérdida económica. Este dinero podría destinarse para otras áreas dentro del hospital General San Juan de Dios o para mejorar los equipos dentro de la red de distribución de vapor.

## **1. ANTECEDENTES**

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del gobierno de la República de Guatemala brinda apoyo al Hospital Nacional San Juan de Dios para cumplir la misión de brindar atención médica a la población guatemalteca.

El hospital es una dependencia del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social; está orientada al tratamiento de pacientes con escasos recursos económicos y como apoyo de la Facultad de Medicina de la Universidad de San Carlos de Guatemala. 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. Historia del Hospital Nacional San Juan de Dios**

Está ubicado en la 1a. avenida 10-50 de la zona 1. Sus inicios se remontan a “1630, procedentes de México, arribaron a la Muy Noble y Muy Leal ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, hermanos hospitalarios, bajo la dirección del Padre Fray Carlos Cívico de la Cerda, así como, otros religiosos. Su objetivo fue el de presentar la solicitud de administrar el hospital de la ciudad”.

A la solicitud se acompañó no sólo la promesa de asistir a enfermos y la atención del hospital, sino la de cumplir con lo dispuesto por el Rey de España en 1632, de tratar con servicios médicos a los habitantes de América, así como, a los españoles.

La devastación causada por los terremotos de Santa Marta en los años 1773 y 1774 en Santiago de los Caballeros, en el Valle de Panchoy, la destruyó de su sitio como capital y su lugar fue cedido a la Nueva Guatemala de la Asunción, en el Valle de la Ermita.

El hospital fue puesto al servicio público en octubre de 1778. No se sabe con certeza el día que esto ocurrió, pero a través de su vida se ha celebrado el 24 de octubre, día de San Rafael Arcángel, patrono desde entonces, como fecha de aniversario.

Los primeros profesionales de la medicina en atender en la nueva capital fueron, Don Toribio Carvajal, cirujano y Don Mariano Rodríguez del Valle, este último llegó a ser sustituido por el doctor José Felipe Flores. También se puede mencionar a los doctores Manuel Vásquez de Molina, Joseph Antonio de Córdova, Juan Antonio Ruiz de Bustamante, Manuel de Merlo, Alonzo de Carriola y Francisco Deplanquez.

En el siglo XX y debido al terremoto del 4 de febrero de 1976, el hospital se vio en la necesidad de trasladar algunas de las áreas de atención médica al Parque de la Industria, en la zona 9 capitalina. Se trasladaron los servicios de emergencia, ginecología y obstetricia, medicina, pediatría y traumatología, entre otras.

En noviembre de 1978 se aprobó y firmó el anteproyecto para la construcción y equipamiento del nuevo hospital San Juan de Dios en el predio anterior (1ª Avenida entre 9ª Calle "A" y 12 Calle de la Zona 1, de la ciudad Capital). Como punto de partida se colocó la primera piedra de lo que sería el nuevo hospital San Juan de Dios, puesto que el anterior quedó semidestruido por el terremoto de febrero de 1976. En 1981 el hospital se trasladó a las actuales instalaciones, en la zona 1.

## **1.2. Servicios médicos de apoyo**

El hospital general San Juan de Dios cuenta con diferentes departamentos y servicios para brindar la atención adecuada a los pacientes que ingresan a esta institución con algún problema de salud.

### **1.2.1. Departamento de anestesiología**

Se considera un Departamento clínico de apoyo, ya que brinda soporte a los Departamentos que atienden directamente a los pacientes.

Presta su servicio a los Departamento de Cirugía, Traumatología, Neurocirugía, Emergencia, Intensivo, Medicina Interna y Rayos X, proporcionando el manejo anestésico integral a los pacientes de los distintos servicios de esos Departamentos.

En el área de adultos se atienden los quirófanos del primero y segundo nivel y las salas de endoscopias, arteriogramas, ERCP, manipulaciones, traumatología y de emergencia, fluoroscopias y cuidados críticos.

### **1.2.2. Departamento de área verde (quirófanos)**

El Departamento está constituido por Sala de operaciones de adultos, Sala de operaciones de pediatría y cualquier otro espacio físico que se utilice para realizar procedimientos quirúrgicos que se encuentre dentro del Hospital.

Se encarga de preparar, almacenar y distribuir técnicamente todo el equipo y material médico necesarios para la realización de los procedimientos quirúrgicos mayores y menores, realizados tanto en los quirófanos, como en los diferentes servicios y unidades del hospital. Este departamento trabaja a cualquier hora del día, en el departamento donde se necesite y realiza la esterilización en todo el hospital por medio de la central de equipos.

Para tal propósito se dispone de un área de 1,750 metros cuadrados, ubicados en el segundo nivel ala norte del edificio central. Allí pueden realizarse procedimientos quirúrgicos de todas las especialidades, excepto los pacientes pediátricos, aunque algunas de sus patologías podrían tratarse en el área habilitada para atención pediátrica.

### **1.2.3. Departamento de consulta externa adultos**

La consulta externa de adultos es el departamento por medio del cual el Hospital se proyecta a la población. Ofrece atención médica como institución de referencia al tercer nivel de atención. Sin embargo, también funciona con servicios de segundo nivel por factores educacionales o culturales.

La consulta externa trabaja en coordinación (interdepartamental) con las jefaturas del departamento de enfermería, registros médicos, trabajo social, rayos X, odontología, medicina interna, cirugía, emergencia y demás departamentos médicos.

#### **1.2.4. Departamento de cirugía general**

Brinda atención médico-quirúrgica por medio de servicios internos y externos. Colabora con las Universidades y escuelas en la formación y especialización de personal médico, enfermería y otras disciplinas.

Capacita al personal médico, paramédico y otro personal que integra el Departamento de cirugía. Enfatiza en la necesidad de un trato humano al paciente.

Efectúa y promueve actividades de investigación científica orientada a la solución de problemas médico-quirúrgicos que coadyuven al mejoramiento de la prestación de servicios. Coordina las actividades del Departamento de cirugía y sus relaciones con otros departamentos del hospital.

#### **1.2.5. Departamento de traumatología y ortopedia**

El Departamento de Ortopedia y Traumatología del Hospital General San Juan de Dios es la Unidad técnica administrativa, que regula la atención de ortopedia y traumatología en sus áreas de influencia, en función de las políticas y programas de la Subdirección Médica del hospital.

Cuenta con cinco secciones: Unidad de Mujeres, Unidad de Hombres, Unidad de Pediatría, Unidad de Consulta Externa Adultos y Pediatría y Unidad de Emergencia de Adultos y Pediatría.

#### **1.2.6. Departamento de banco de sangre**

Los Bancos de Sangre y Servicios de Medicina Transfusional, constituyen servicios de apoyo de mayor interés en las unidades hospitalarias. Son los encargados de toda actividad relacionada con la obtención, dotación, tamizaje, conservación, procesamiento, transfusión y suministro de sangre humana y de sus componentes.

El Banco de Sangre y Servicio Transfusional del Hospital General San Juan de Dios constituye uno de los centros en el ámbito nacional de mayor importancia, donde se atienden un promedio de 16,000 donadores al año y se aplican un promedio de 25,000 transfusiones anuales.

El Departamento de Banco de Sangre del Hospital General San Juan de Dios tiene como principal labor suministrar componentes sanguíneos a los diferentes Departamentos del Hospital y de otros Hospitales a los cuales brinda apoyo.

Todos los procedimientos llevados a cabo en el Departamento de Banco de Sangre del Hospital General San Juan de Dios se realizan bajo un estricto control de calidad. Los mismos son supervisados por profesionales en química biológica para garantizar su aptitud y evitar que generen condiciones de riesgo a los pacientes que asisten a la institución.

### **1.2.7. Departamento de enfermería**

Es un Departamento técnico-normativo con disposición de brindar un cuidado integral de enfermería al usuario. Cuenta con tecnología apropiada y recurso humano, calificado, quien recibe educación permanente, para contribuir a mejorar la calidad en la atención que se brinda. De esta manera se genera un clima aceptable para el bienestar del recurso humano y del paciente. El compromiso de este departamento es proporcionar cuidados sin discriminación política, religiosa y social.

### **1.2.8. Departamento de farmacia Interna**

El departamento de Farmacia Interna es el órgano técnicamente especializado para almacenar, distribuir, controlar y, eventualmente, producir medicamentos y productos afines, utilizados en el hospital.

Se encarga de la información técnica, científica y control de calidad de medicamentos y agentes químicos utilizados en el hospital. Adicionalmente, efectúa la función de servicio, docencia e investigación, por medio de su equipo de profesionales y técnicos.

### **1.2.9. Laboratorio clínico**

El Laboratorio Clínico del Hospital General San Juan de Dios es un laboratorio altamente especializado que presta servicios, para el diagnóstico y tratamiento del paciente.

Cuenta con certificaciones de control de calidad, avalados por Randox Internacional Quality Assessment Scheme (RIQAS) del Reino Unido y el Colegio de Patólogos de América.

Brinda apoyo a cada una de las especialidades médicas del Hospital General San Juan de Dios realizando procedimientos de calidad oportunos para el diagnóstico y tratamiento correctos de los pacientes.

#### **1.2.10. Medicina física y rehabilitación**

El Departamento de Medicina Física y Rehabilitación es un servicio de apoyo en este complejo hospitalario. Se atiende a toda persona sin discriminación de edad, raza y sexo; tanto ambulatorios como pacientes hospitalizados, referidos por diferentes especialidades médicas hospitalarias, así como de las regiones de cobertura hospitalaria.

Pacientes que, como consecuencia de enfermedad o accidentes, presentan cualquier daño estructural o funcional del cuerpo humano, incluyendo alteraciones psicológicas o de factores contextuales que pueden provocar cualquier tipo de deficiencia, discapacidad o minusvalía.

Se brinda una intervención de trabajo médico y técnico formada por representantes de cada área del departamento, médico rehabilitador, terapeuta físico, ocupacional, del habla, y psicología, para proporcionar una atención integral al paciente, según la lesión que presenta.

Brindar un servicio asistencial integrado, bajo los programas científicos de la medicina física y rehabilitación, apoyando la docencia e investigación y ejerciendo acciones multidisciplinarias que permitan la recuperación del individuo en su contexto físico, biológico, psicológico y social

#### **1.2.11. Departamento de nutrición y dietética**

El Departamento de Nutrición y Dietética (DND) es un servicio que depende de la Subdirección Técnica. Se encarga de brindar alimentación a pacientes y personal, así como tratamiento dietoterapéutico especializado en consulta interna y externa.

Debe contar con cuatro áreas en las cuales se abastece, evalúan costos, planifican, producen y distribuyen dietas de acuerdo con la patología del paciente en todos los servicios de encamamiento del Hospital General San Juan de Dios. Paralelamente, desarrolla actividades docentes y de investigación, encaminadas a mejorar la calidad de atención a los usuarios.

Prevé la alimentación nutritiva permanente para contribuir a la recuperación de la salud de los pacientes. Procura brindar al paciente una dieta que cubra adecuadamente los requerimientos nutricionales, atractiva y apetitosa.

#### **1.2.12. Gerencia de mantenimiento**

Es una parte integral de la institución. Es responsable de brindar el servicio necesario de mantenimiento y de otros servicios generales vitales para la institución. De esta manera, contribuye con la asistencia que proporciona el hospital para garantizar la salud de la población.

Garantiza la disponibilidad de los servicios generales para el buen funcionamiento del hospital y optimiza el uso de los recursos disponibles. Organiza, orienta, asesora, coordina, supervisa y evalúa todas las actividades de servicios generales, proyectando mejoras en las dependencias de su cargo.

Desarrolla proyectos en beneficio del hospital que involucren a las dependencias de la Gerencia de Mantenimiento y Servicios Generales. Garantiza el Servicio de mantenimiento, imprenta, lavandería, costurería, limpieza y otros servicios generales importantes para la asistencia que brinda el hospital a la ciudadanía guatemalteca. Posee las siguientes sub-áreas:

- Subgerencia de Mantenimiento
- Subgerencia de Electromedicina y Servicios Generales
- Obra Civil
- Lavandería
- Mantenimiento
- Costurería
- Imprenta
- Intendencia

El área de mantenimiento atiende las 24 horas del día los 365 días del año, en sus diferentes áreas.

### **1.3. Distribución de vapor**

Su objetivo es realizar una descripción de los principales aspectos relacionados a la red de distribución de vapor. Para ello, recopila información apropiada que permita comprender la importancia de conservar en buen estado los elementos que distribuyen vapor a los equipos.

### **1.3.1. Definición**

La red de distribución de vapor es un sistema que conectan a las calderas con el equipo que utiliza vapor. Estos sistemas de distribución transportan el vapor hasta cualquier sitio en la planta donde se necesita energía calorífica.

La red de distribución de vapor es la encargada de conducir el vapor generado en la caldera hacia los diferentes puntos que lo requieren en el proceso industrial. Para ello, se utilizan reguladores de presión, reguladores de temperatura, trampas de vapor, aislante térmico, dimensiones, ramificaciones y material de tubería adecuado.

La generación industrial de vapor es el proceso mediante el cual se produce vapor a presiones por encima de la atmosférica, a partir de la energía de un combustible, o de energía eléctrica.

El vapor de agua constituye el fluido energético ideal para la industria, la cual requiere del uso de calor a diversos niveles de temperatura, generalmente entre los 90°C y 260°C. El alto calor latente y la pequeña densidad de este fluido hacen que el vapor de agua sea especialmente efectivo en las operaciones de calentamiento. Su uso se extiende prácticamente a todas las unidades de procesos químicos.

### **1.3.2. Generalidades**

El vapor todavía es de uso común en los procesos industriales por las siguientes razones: es una forma muy eficaz de transferir energía de una fuente central a diversos puntos de uso, la presión propia del vapor actúa como la fuerza motriz para mover el vapor a los puntos requeridos.

Existe una relación directa entre la presión y la temperatura del vapor que lo hace ideal para el control de proceso y tiene una entalpia relativamente alta por lo que puede transferir una gran cantidad de energía en relación con el flujo de la masa.

Es necesario diseñar este sistema para lograr las condiciones de proceso requeridas y reducir, tanto como sea posible, las pérdidas de energía en la red de distribución de vapor.

Lo ideal sería que toda la energía que sale de la casa de calderas llegara al proceso. Sin embargo, ya que el vapor es considerablemente más caliente que la temperatura del aire circundante, siempre habrá algunas pérdidas, la clave es reducir las tuberías en la medida que sea posible.

El primer paso es el aislamiento térmico de la línea. Hay una gran diferencia entre la pérdida de calor de una tubería al descubierto y una tubería con sólo 1" de aislamiento. Sin embargo, la regla general es de 1" de aislamiento por 100 °F (25 mm por 56 °C) de la temperatura del vapor. Un aislamiento típico sería de fibra de vidrio con revestimiento de acero inoxidable.

Lo ideal sería que todos los elementos auxiliares, tales como válvulas de control, válvulas de aislamiento, fueran alimentadas por vapor sin contenido de condensado. El aislante térmico reduce la pérdida de energía y la creación de condensado, este debe permanecer seco, el aislamiento mojado es peor que la falta de aislamiento.

El revestimiento debe estar bien sellado y la tubería no se debe instalar en zanjas o trincheras donde hay una posibilidad de inundación. Es importante, también, el aislamiento de las tuberías de condensado, ya que cualquier pérdida de calor de la línea de condensados significa más energía que se podría utilizar en la caldera.

Se recomienda tener trampas de vapor para drenar el condensado de las líneas. Es importante diseñar correctamente el sistema de remoción de condensado; para vapor saturado las trampas deben estar ubicados cada 30 o 40m.

Disponer de una trampa antes de cada subida y preferiblemente antes de cada curva es esencial; las trampas de vapor también son importantes para proteger equipos, como medidores de flujo y válvulas de control.

Se debe procurar que todo el condensado de las trampas sea devuelto al tanque de retorno. Puede haber una o más líneas de retorno de condensado para todas las trampas dependiendo del tamaño de la red de distribución. Luego que regresa el condensado a los tanques es bombeado de nuevo a la caldera para cerrar el ciclo.

Cuando se realizan ramificaciones, deben ser tomadas de la parte superior de las líneas de vapor y si se requiere aislar la línea. La válvula de aislamiento debe instalarse directamente en la parte superior de la línea de vapor. Esto puede implicar el acceso a pisos superiores para abrir o cerrar la válvula, pero previene la formación de condensado delante de la válvula.

## **1.4. Energía**

La caldera del Hospital General San Juan de Dios genera energía en forma de calor, la cual se envía en forma de vapor a los equipos que lo necesitan para su funcionamiento, por medio de la red de distribución.

### **1.4.1. Definición**

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento, también está relacionada con la capacidad de realizar o lograr un objetivo.

En física, energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. La ley universal de conservación de la energía , indica que la energía ligada a un sistema aislado permanece constante en el tiempo. Eso significa que para multitud de sistemas físicos clásicos la suma de la energía mecánica, la energía calorífica, la energía electromagnética, y otros tipos de energía potencial es un número constante.

Por ejemplo, la energía cinética se cuantifica en función del movimiento de la materia, la energía potencial según propiedades como el estado de deformación o a la posición de la materia en relación con las fuerzas que actúan sobre ella, la energía térmica según su capacidad calorífica, y la energía química según la composición química.

La teoría de la relatividad especial establece una equivalencia entre masa energía. Por esta razón, todos los cuerpos, por estar formados de materia, poseen una energía adicional equivalente a  $E=mc^2$  donde la energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado.

### **1.4.2. Lineamientos**

Para lograr que el sistema energético sea más eficiente en términos de productividad y sostenibilidad, menos vulnerable y más equitativo, que produzca menos emisiones, se deben utilizar los recursos naturales propios en forma más equilibrada y responsable y hacer un mayor uso de los recursos renovables nacionales.

Se deberá de asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno de manera sostenible con los recursos naturales, equidad, atención y con total apertura a nuevos cambios tecnológicos.

La puerta debe permanecer abierta a cambio de combustibles primarios, hacia otros combustibles o métodos de combustión más eficientes y limpios. Se debe adoptar la definición de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente, como un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades.

Para la optimización de recursos y la adaptación a nuestros usos, necesitamos transformar unas formas de energía en otras. Todas ellas se pueden transformar en otra, cumpliendo los siguientes principios termodinámicos:

- La energía no se crea ni se destruye; solo se transforma. De este modo, la cantidad de energía inicial es igual a la final.

- La energía se degrada continuamente hacia una forma de energía de menor calidad. Dicho de otro modo, ninguna transformación se realiza con un 100 % de rendimiento, ya que siempre se producen unas pérdidas de energía térmica no recuperable.

Cuando hablamos de energía térmica, empleamos el termino caloría, que se define como la cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura (para pasar de 14°C a 15 °C) un gramo de agua, a presión atmosférica normal.

### **1.4.3. Tipos**

Es común clasificar las fuentes de energía según incluyan el uso irreversible o no de ciertas materias primas, como combustibles o minerales radioactivos. Según este criterio las fuentes de energía explotables tecnológicamente pueden ser: la energía renovable y la no renovable.

La energía renovable se obtiene de fuentes naturales, virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

- La llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada: energía azul.
- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El Sol: energía solar.
- Las olas: energía undimotriz.

Las contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiesel. Se les llama contaminantes, debido a que, en la combustión emiten dióxido de carbono, el cual daña la capa de ozono.

Mediante las expresiones energía no renovable o energías convencionales se alude a fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas, las cuales, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o de extracción económicamente viable.

De esta índole de energías existen dos tipos de combustibles: los fósiles y los nucleares; Son combustibles fósiles el carbón, el petróleo y el gas natural. Proviene de la biomasa de hace millones de años, que bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura se convirtieron en sustancias dotadas de propiedades energéticas.

El combustible fósil puede utilizarse directamente, quemándolo en hornos, estufas, calderas y motores, para obtener calor y movimiento. También puede usarse para producir electricidad en centrales térmicas o termoeléctricas. En ellas, mediante el calor generado al quemar estos combustibles se obtienen vapor de agua, que, conducido a presión, es capaz de poner en funcionamiento un generador eléctrico, normalmente una turbina.

Entre sus ventajas podemos mencionar la facilidad de extracción, la disponibilidad temporal, la continuidad y en comparación con otros combustibles es barato. Entre sus desventajas se pueden mencionar: la emisión de gases contaminantes en la atmósfera que resultan tóxicos para la vida, la posibilidad de terminación de reservas a corto y mediano plazo y la disminución de disponibilidad de materias primas aptas para fabricar productos, en lugar de quemarlas.

Los combustibles nucleares pueden ser el uranio, el plutonio y, en general, todos los elementos químicos fisibles adecuados para la operación de reactores capaces de producir energía por fisión nuclear.

La energía nuclear se utiliza para generar electricidad en centrales nucleares. El procedimiento de producción es muy semejante al que se emplea en las centrales termoeléctricas. Difiere en que el calor no se genera por combustión, sino mediante fisión de materiales.

Entre sus ventajas están la producción continua de energía abundante y la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero durante su funcionamiento. Sin embargo, entre sus desventajas están la reserva limitada, y las catástrofes ambientales como el caso de Chernóbil donde toda una comunidad sufrió: desalojo, mutaciones, muerte de la vegetación, contaminación de ríos y pérdida de seres queridos.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

El Hospital Nacional San Juan de Dios es una institución, con diversos departamentos diseñados para el buen funcionamiento del sistema de salud. En este inciso se describirán los elementos básicos que conforman la red de distribución de vapor, para optimizar los recursos utilizados en el traslado de este fluido.

Figura 1. **Ubicación satelital del Hospital San Juan de Dios**



Fuente: Google Maps. Consulta: enero 2016

## **2.1. Capacidad del hospital**

En la actualidad, el hospital general tiene capacidad para 900 camas y 200 camillas. Cuenta con personal capacitado, clasificado de la siguiente forma: auxiliares de enfermería y enfermeras graduadas 1300, 00, médicos 500, 00 y trabajadores administrativos y de otras áreas 1200,00.

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.

## **2.2. Caldera de vapor**

El hospital cuenta con dos calderas, aunque una de ellas se encuentra en reserva. Por esta razón toda referencia corresponde a la que está en funcionamiento. Está ubicada en el cuarto de calderas donde también se encuentra el tanque de retorno de condensado y dos calentadores de agua.

La caldera que usa el hospital es pirotubular; marca Kewanee, alimentada con diésel, con capacidad para 250 caballos de fuerza de caldera (BHP), a 100 libras por pulgada cuadrada de presión de trabajo.

En esta caldera, el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión.

El agua se evapora al contacto con los tubos calientes, producto de la circulación de los gases de escape. A continuación, se describirán los elementos más importantes de una caldera piro-tubular.

### **2.2.1. Válvula de retención (cheque)**

Son válvulas integrales destinadas a impedir la inversión del flujo en las tuberías. Principalmente, su funcionamiento es automático y se mantienen abiertas por la presión del flujo que circula. Solo se cierra con el paso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

Las válvulas de retención tienen el propósito de permitir el flujo en un solo sentido y su aplicación principal es en la descarga de bombas. Su función es prevenir que el flujo bombeado regrese una vez que las bombas se detienen. También evitan que el flujo de retorno provoque un giro inverso de las bombas, lo cual puede, en algunos casos, dañar los equipos de bombeo. A continuación, se muestran los tipos más utilizados.

### **2.2.2. Válvula de compuerta**

La válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no se emplean para regulación.

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar abierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

### **2.2.3. Válvula de globo**

La válvula de globo se puede utilizar desde el control de caudal hasta el control abierto-cerrado. Cuando el tapón de la válvula está en contacto firme con el asiento, la válvula está cerrada. Cuando el tapón de la válvula está alejado del asiento, la válvula está abierta.

El caudal está determinado por la distancia desde el tapón de la válvula al asiento. Una característica de este tipo de válvula es que hay pocas posibilidades de daños al asiento o al tapón por el fluido, incluso si se utiliza en la posición parcialmente abierta,

Sin embargo, debido a que la vía de circulación en esta válvula es en forma de 'S', la caída de presión es mayor que el de otros tipos de válvulas. Además, el vástago de la válvula debe ser accionado en numerosas ocasiones para abrir y cerrar la válvula y por tanto, puede haber fuga por la glándula de sello.

Además, dado que cerrar la válvula requiere accionar el vástago hasta que el tapón presione firmemente hacia abajo en el asiento, es difícil saber el punto exacto en el que la válvula está totalmente cerrada. Ha habido casos en que accionando accidentalmente la flecha de la válvula demasiado lejos se ha dañado la superficie del asiento.

#### **2.2.4. Válvula de seguridad**

Las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad o válvulas de alivio, están diseñadas para liberar un fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supere el límite establecido (presión de tarado). Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas de alivio que liberan el fluido cuando la temperatura supera un límite establecido.

Las válvulas de seguridad se pueden encontrar en instalaciones industriales, comerciales y domésticas. En general son obligatorias en las instalaciones donde circulen o se mantengan fluidos sometidos a cambios de presión

En estas válvulas es muy importante que el fluido se libere hacia el exterior, en un lugar visible, puesto que habitualmente la fuga indica un fallo del sistema normal de regulación, de este modo, el operador puede saber que hay un problema y debe corregirlo. En caso de fluidos peligrosos se debe enviar a contenedores especiales para su resguardo.

### **2.2.5. Válvula reguladora de presión**

Cuando se trabaja con alta presión es necesario saber controlarla, ya que, si se exceden los límites, se puede provocar un accidente. Por el contrario, si no reciben la presión necesaria, los equipos no trabajan adecuadamente.

La función principal de las válvulas reguladoras es mantener la presión adecuada que recibirán los equipos, de manera que no haya ni exceso ni falta de presión. Estas permiten manipular la presión desde el mínimo hasta el máximo nivel. Al mismo tiempo, las válvulas reguladoras actúan como mecanismo de seguridad, ya que no permiten que se exceda el nivel de presión que elige la persona que las está operando, con lo que se reduce el riesgo de accidentes.

### **2.2.6. Trampas de vapor**

Tan pronto como el vapor deja la caldera, empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura. Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura.

La combinación de agua y vapor provoca que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor. Es evidente la importancia de las trampas de vapor para una empresa que utiliza algún equipo calentado con vapor.

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor. El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> causan corrosión; por ello, es importante que la trampa evite que estos gases continúen en la red de distribución de vapor.

Además de estas funciones importantes, las trampas de vapor evitan que el vapor se pierda o se mezcle con fluidos no deseados; al momento de aislar condensado y de gases no condensables, la trampa entrega a la red únicamente el fluido que necesita, en este caso, es vapor.

### **2.2.7. Manómetros**

El manómetro es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases.

Uno de los manómetros más usados en la industria es el de Bourdon consta de un fino tubo metálico de paredes delgadas, de sección elíptica muy aplastada y arrollado en forma de circunferencia. Este tubo está cerrado por un extremo que se une a una aguja móvil sobre un arco graduado. El extremo libre, se conectará al recipiente que contiene el gas comprimido. Cuando la presión crece en el interior del tubo, este tiende a aumentar de volumen y a rectificarse, lo que pone en movimiento la aguja que indica la presión contenida en el recipiente.

### **2.2.8. Termómetros**

Es un instrumento de medición de temperatura. Desde su invención ha evolucionado mucho, principalmente a partir del desarrollo de los termómetros electrónicos digitales.

Inicialmente, se fabricaron aprovechando el fenómeno de la dilatación, por lo que se prefería el uso de materiales con elevado coeficiente de dilatación, de modo que, al aumentar la temperatura, su estiramiento era fácilmente visible. El metal base que se utilizaba en este tipo de termómetros ha sido el mercurio, encerrado en un tubo de vidrio que incorporaba una escala graduada.

### **2.2.9. Presóstatos**

El presóstato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que abre o cierra una válvula según la lectura de presión obtenida en un sistema eléctrico.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presóstato al aplicar mayor o menor fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente, tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado, la cual ayuda a dirigir el funcionamiento de algunos elementos de la caldera, por ejemplo, el quemador, que se enciende o apaga según los rangos establecidos de presión.

#### **2.2.10. Filtros**

Los filtros de agua evitan que lleguen partículas sólidas al interior de la caldera. El paso del tiempo y la acumulación de pequeñas partículas arrastradas por el agua, producto del desprendimiento en el interior de la tubería, provoca la acumulación de restos en el interior de las calderas que carecen de filtros.

Instalarlos a la entrada de agua de las calderas ahorra costes, averías y prolonga la vida útil. Su instalación resulta sencilla y puede llevarse a cabo al mismo tiempo que instalan la nueva caldera o calentador de agua.

Gracias al filtro, las partículas y cuerpos extraños de pequeño calibre que sean arrastrados por el caudal de agua, serán capturados por la malla metálica que hay en el interior del filtro y se alojaron en el vaso, que almacena las partículas que tiene el filtro en su zona más baja.

La captura de partículas se produce por la acción separadora de la malla metálica que, una vez captadas las impurezas, las precipita por gravedad al fondo del vaso, donde permanecen alojadas sin interferir en el caudal de llegada de agua de los aparatos.

Transcurrido un tiempo, debe limpiarse. Para ello, se cierra la llave de servicio que da paso al agua de la caldera y se afloja el tapón de la base del filtro; se extrae la malla metálica y se limpia sumergiéndola en un recipiente de agua limpia.

### **2.2.11. Bomba de alimentación de agua**

Las bombas de alimentación de calderas están diseñadas para suministrar agua a las calderas. Un controlador de nivel en la caldera activa las bombas de alimentación de calderas.

Las bombas centrífugas pueden tener una eficiencia de hasta el 90 %. Las bombas de alimentación de la caldera tienden a tener velocidades específicas que son demasiado bajas, pero usando motores de 3.500 rpm en vez de motores de 1.750 rpm se dobla la velocidad específica.

La solución más práctica es considerar una bomba de 3.500 rpm en dos etapas (o dos bombas de una etapa en serie). Esto eleva la velocidad específica ya que las etapas individuales (o bombas) trabajan a la mitad de la presión total.

### **2.2.12. Bomba de alimentación de diésel**

Para hacer circular los combustibles líquidos, entre los depósitos de almacenamiento y los quemadores, es necesario utilizar bombas que lo impulsen a través de las tuberías correspondientes.

Se deberán utilizar, de preferencia, bombas de impulsión del fluido por medio de engranajes que ofrecen las siguientes ventajas: son más robustas, son más estables y trabajan de modo más uniforme. El propio combustible, al ser un producto derivado del petróleo, actúa como un lubricante de los engranajes, extendiendo su vida útil.

### **2.2.13. Quemador y chimenea**

El quemador es el principal componente para la combustión del combustible. En las calderas industriales, el quemador impulsa el combustible y el aire a la cámara de combustión, de manera que la combustión sea eficiente mientras se encuentra en plena capacidad.

El diseño del quemador determina las características de la mezcla del combustible y del aire, tamaño de las partículas, y distribución del combustible, también determina el tamaño y forma de la envoltura de la llama.

Para lograr la combustión completa del combustible se necesitan unos flujos de aire y de humos adecuados, que se crean y mantienen por medio de la chimenea y producen la diferencia de presión necesaria. El tiro es la diferencia entre la presión atmosférica y la presión estática de los humos en el hogar.

#### **2.2.14. Temperatura y presión de operación**

La caldera debe proporcionar vapor de calidad a una presión y temperatura requeridas por el sistema, de manera que todos los equipos funcionen adecuadamente para los fines que fueron creados.

Si incrementa la presión de operación de la caldera, automáticamente se eleva la temperatura a la cual tiene lugar la ebullición. Esto produce un incremento de la temperatura promedio a la que se añade calor al vapor y de ese modo aumenta el rendimiento térmico del ciclo. Las presiones máximas de operación en las calderas han ido aumentando con el tiempo hasta alcanzar hoy día valores hipercríticos en torno a los 30 MPa.

Es de suma importancia respetar los límites de presión y temperatura de operación de la caldera, ya que excederse puede causar serios daños, tanto a los operadores, como a la infraestructura del lugar. Por otra parte, si la presión y temperatura de operación está muy por debajo de lo requerido, puede generar daños en los equipos auxiliares y los que demandan vapor, si esto no se controla a tiempo.

#### **2.3. Uso de vapor**

La institución cuenta con equipo que es alimentado por vapor que proviene de la caldera. Hay tres áreas que fueron estudiadas debido al alto consumo de vapor, estas son: nutrición y dietética, lavandería y central de equipos y esterilización.

El estudio se realizó aplicando el método de la observación directa de las áreas y equipos que utilizan vapor. Se observó el estado de los equipos y de la red de distribución, para determinar pérdidas de energía en la red.

Los puntos importantes en los cuales se centró la investigación fueron: estado del equipo, estado de la tubería, existencia de fugas, estado de los aislantes térmicos, funcionamiento de los equipos auxiliares y la distribución adecuada de la red de vapor.

### **2.3.1. Área de nutrición y dietética**

Nutrición y dietética es el área del hospital encargada de suministrar alimentos a los pacientes de todas las edades. El equipo que usa vapor como fuente de energía en esta área, son las marmitas. Usualmente, la marmita tiene forma semiesférica y puede estar provista de un sistema de volteo para facilitar la salida del producto, la cual se utiliza para procesar alimentos.

La forma de operar consiste en hacer circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por la caldera, en este proceso se cocinan los alimentos por medio de la transferencia de calor.

En esta área se observó la existencia de tubería en mal estado, marmitas que no funcionan adecuadamente, fugas de vapor, falta de aislante térmico, pérdidas energéticas por contacto directo con agua, falta de controles de presión y dimensiones inadecuadas en la tubería de distribución de vapor. Además, en esta área se encontró que las rejillas donde se para el personal están dañadas generando una condición insegura para las encargadas de producir los alimentos para el hospital.

### **2.3.2. Área de lavandería**

El Área de lavandería, secado y planchado se encarga de tratar la ropa sucia la cual debe quedar limpia de cualquier contaminación y tener una presentación apropiada para los usos posteriores. Los principales equipos que utiliza son:

- Las lavadoras: utilizan el calor del vapor que reciben en su parte superior, al mezclarlo con el agua fría de alimentación. Posteriormente, el agua caliente ingresa a la cámara donde se encuentra la ropa sucia y, con adición de un detergente, limpia la ropa en un ciclo que dura 60 minutos cada vez. No tienen retorno de condensado.
- Secadoras: en estos equipos el vapor ingresa arriba de la cámara donde se encuentra la ropa, a la cual se le aplica calor. De esa manera inicia el ciclo. Al finalizar este, gira (operación centrifugadora) para acelerar el secado.
- Planchadoras: la suministración que viene de la caldera hace de la tarea del planchado algo más rápido y fácil; el vapor es expulsado, por lo general, mediante pequeños orificios en la superficie metálica de planchado, a través de los que se va dosificando el vapor hacia la prenda.

En esta área se encontró que buena parte de la tubería carece de aislante térmico, la iluminación es baja y los manómetros de control de presión, no están funcionando adecuadamente; algunos de estos no muestran ninguna variación de presión, con lo cual ponen en riesgo al personal y a los equipos.

### **2.3.3. Área de central de equipos y esterilización**

Central de Equipos y Esterilización, es el servicio responsable de obtener, limpiar, preparar, esterilizar, controlar y suministrar, a todos los servicios de la institución, los insumos necesarios para las actividades en los campos médico y quirúrgicos.

El equipo que utiliza vapor en esta área son las autoclaves. Una autoclave es un aparato provisto de una llave y manómetro para regular la presión y temperatura que se desea utilizar.

El vapor por sí solo no es esterilizante. Se somete en el interior a una presión mayor que la atmosférica, que aumenta la temperatura del vapor. De esta forma se consigue la destrucción de todos los microorganismos.

En esta área se encontró que existen pérdidas de vapor debido a que la tubería principal que suministra vapor a las autoclaves carece de aislante térmico, trampas de vapor dañadas, la bomba de retorno de condensado no funciona; por esta razón el condensado es empujado por la presión que trae desde la caldera y se genera una contrapresión que, a su vez, permite que haya humedad en las autoclaves. Todo ello, retrasa el ciclo del equipo.

### **2.4. Red de distribución de vapor**

Es la encargada de suministrar vapor a los equipos desde la caldera, a través de tubos y diversos elementos fundamentales para el flujo adecuado del vapor. Sin ellos, la alimentación puede ser pobre o muy elevada para los estándares deseados.

La distancia recorrida es uno de los principales factores para determinar el diseño adecuado de la tubería, así como, las pérdidas energéticas que pueden ocurrir por ausencia de aislante térmico.

El diseño de la distribución de la red de vapor, en la mayoría de los casos, cumple con los requerimientos de los equipos, exceptuando el área de nutrición y dietética el cual necesita un rediseño para el funcionamiento óptimo de los equipos.

#### **2.4.1. Tipo de tubería**

Es de gran importancia aclarar la diferencia que existe entre los términos tubería y tubo, pues comúnmente son confundidos. La tubería corresponde al conjunto conformado por el tubo, los accesorios, las válvulas, y otros elementos, encargados de transportar el vapor hacia los equipos que lo necesitan. El tubo es un producto tubular con dimensiones y materiales ya definidos para el transporte de vapor.

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 no.

“La ASTM (American Section of the International Association for 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.”<sup>1</sup>

El tipo de tubería utilizado en el hospital San Juan de Dios tiene la resistencia mecánica adecuada, para el tipo de flujo que circula por las mismas; en la actualidad, utilizan tubería de hierro negro Cédula 80

#### **2.4.2. Aislantes térmicos**

Un aislante térmico es un material usado en la industria por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios impidiendo que entre o salga calor del sistema.

Existen diversos tipos de aislantes térmicos, pero el que utiliza el Hospital General San Juan de Dios es la cañuela de fibra de vidrio, por su alta resistencia térmica. Este tipo de aislante se utiliza para recubrir la tubería que transporta vapor para evitar una transferencia de calor por medio de la tubería al ambiente que le rodea.

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.

---

<sup>1</sup> 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. p. 98.

Por otra parte, si el aislante térmico no realiza su función se incurre en pérdidas energéticas por transferencia de calor que, a su vez, representa un gasto innecesario para la empresa. Además, se corre el riesgo de enviar líquido condensado hacia los equipos, lo cual causa, desde un funcionamiento deficiente, hasta daños permanentes en estos.

Se pudo observar que buena parte de la tubería que transporta vapor del hospital San Juan de Dios está muy deteriorada y, en algunos casos, es inexistente. Esto da como resultado pérdidas económicas y energéticas, como se verá en el capítulo siguiente.

### **2.4.3. Uniones**

En la red del establecimiento es necesario unir tubos en distintas direcciones; para ello, se utilizan accesorios llamados juntas o uniones, que nos permiten colocar la tubería en la dirección adecuada.

Los codos son accesorios que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas, tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

Los codos estándar son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

- Codos estándar de 45°
- Codos estándar de 90°
- Codos estándar de 180°

La técnica de la soldadura se aplica en uniones de tuberías de acero. Por su aplicación puede usarse en cualquier tamaño, proporciona unión permanente y puede ser más fuerte que los materiales originales.

También se utilizan las uniones roscadas las cuales son usadas en tuberías de diámetro pequeño (hasta Ø4"). La rosca es cónica para asegurar un sello hermético, apoyados con un sellador de teflón o permatex.

Los Niples sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. Se diferencian porque la unión posee rosca hembra, mientras que el niple tiene rosca doble macho.

Las juntas de expansión son muy importantes en las tuberías que transportan fluidos de alta temperatura. Se usan en lugares donde no hay espacio para que la tubería se acomode debido a la dilatación por el calor. La elección apropiada evitará que se generen fuerzas de tensión superiores a las de diseño.

Se observó que las uniones del hospital San Juan de Dios no están dañadas; sin embargo, se recomienda, cambiar las juntas de expansión de la tubería que está en el pasillo anexo al cuarto de maquina ya que presentan un deterioro inicial.

#### **2.4.4. Fugas**

Las fugas que se pueden encontrar en la red de vapor son de dos tipos. La primera es de condensado y la segunda es de vapor. Ambas generan mermas en la cantidad de energía que llega a los equipos que las necesitan.

Fugas de condensado se consideran a los derrames de agua tratada, de un dispositivo o tubería que la contiene o transporta. Generan pérdidas económicas por el desperdicio de agua potable y de los químicos que se utilizan para que el agua sea útil en el proceso de producir vapor.

Se considera fuga de vapor al escape de condensado en fase de gas de un dispositivo o tubería que lo contiene o transporta. Generan pérdidas económicas y energéticas para el sistema por consumo innecesario de diésel. Se pudo observar que existen fugas de vapor en la red de distribución del mismo. Se recomienda que el daño se repare lo antes posible, ya que pueden ocasionar un gasto significativo, dañar los equipos o mermar su desempeño.

#### **2.4.5. Válvulas**

Una válvula es un dispositivo con el cual se puede iniciar, detener o regular el flujo de líquidos o gases mediante un sistema que abre, cierra u obstruye en forma parcial los conductos del fluido.

Las válvulas son instrumentos de control esenciales en la red de distribución de vapor. Igual que en una caldera las válvulas más utilizadas en una red son: válvula de retención, válvula de compuerta, válvula de globo, válvula de seguridad y válvula reguladora de presión. (Ver página 17)

En la actualidad, las válvulas de la red funcionan adecuadamente. Sin embargo, se recomienda una revisión diaria y reportar cualquier anomalía a los superiores. De esta manera se podrán tomar acciones preventivas o correctivas si es necesario.

#### **2.4.6. Trampa de vapor**

Al igual que el sistema de redistribución de la caldera, la red del hospital requiere de trampas de vapor para brindar una calidad adecuada de este fluido a los equipos. Su función principal es asegurar que la red de vapor no contenga líquido en la tubería ya que este produce pérdidas energéticas y daños en los aparatos.

Tomando como base su principio de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos básicos:

- **Mecánicas:** se basan en la diferencia de densidad del vapor y la del condensado.
- **Termostáticas:** operan por diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado.
- **Termodinámicas:** operan con base al cambio de estado que sufre el vapor.

“Una trampa de vapor es una válvula automática cuya misión es descargar el condensado sin que exista fuga de vapor vivo. Sus funciones básicas son:

- Drenar los condensados manteniendo las condiciones de presión de temperatura de vapor en los procesos.
- Eliminar el aire y otros gases no condensables, pues el aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor.

- Evitar pérdidas de vapor de alto contenido energético en el sistema<sup>2</sup>.

Debido a la importancia de las trampas en la red de vapor, es necesario verificar el funcionamiento de manera periódica, ya que el fallo de ellas limita la eficiencia de los equipos.

Cuando una trampa falla, es importante verificar su estado para determinar si requiere reparación o reemplazo. De esta manera se evitan los gastos en reparaciones sin resultados adecuados.

Toda trampa tiene especificaciones que deben ser tomadas en cuenta por las siguientes razones:

- Pone en riesgo la vida de los operarios al tener una sobrepresión en la trampa.
- Pérdida de energía por acumulación de condensado o fuga de vapor en los equipos.
- Aumento en el tiempo de operación de los equipos, por poca transferencia de energía.

En la actualidad, las trampas de vapor de la red de distribución de vapor del hospital San Juan de Dios están trabajando adecuadamente. Se recomienda realizar una revisión semanal y un mantenimiento mayor, por lo menos, cada dos meses.

---

<sup>2</sup> ANGUIANO PANTOJA, Jorge Luis; ASTUDILLO VELÁZQUEZ Armando Jehú; HERNÁNDEZ COLÍN, Hernán. *Trampas de vapor* [en línea]. <http://es.scribd.com/doc/44858397/Trampas-Expo>. [Consulta: enero de 2016].

## **2.5. Drenaje de vapor**

En la red existe un sistema que permite drenar el vapor cuando este cambia a fase líquida. Este proceso se conoce como condensado. El condensado regresa a la caldera donde nuevamente pasa a fase de vapor para cumplir un ciclo.

El vapor se suministra a diversos equipos que, al utilizar su calor latente, convierten el vapor en condensado. Este condensado debe circular libremente por la tubería de retorno para ser tratado nuevamente por la caldera.

La mayoría de equipos envía el condensado por gravedad directamente al tanque de retorno y otros lo envían al túnel donde existe una bomba la cual se encarga de enviar el condensado hasta este.

El mantenimiento radica en verificar que la tubería de retorno y los equipos estén en perfecto estado para que el condensado llegue sin ninguna complicación al tanque. Si esto no ocurre, puede producirse retroceso de condensado a los equipos y si estos no tienen una válvula de retención se dañarán.

Se recomienda realizar rutinas diarias de inspección de la tubería de condensado, verificar el funcionamiento de la bomba de retorno de condensado, y reportar inmediatamente cualquier anomalía encontrada.

## **2.6. Pérdidas de vapor**

Es importante el cuidado del vapor industrial ya que su despilfarro representa pérdidas económicas y ambientales. Si existe un aumento en el consumo de vapor de una red no modificada, debe analizarse la razón por la cual se produjo y darle pronta solución.

Si el equipo que trabaja en las distintas áreas de la institución se encuentra en mal estado, demanda más vapor que el requerido por el equipo ya que no aprovecha la totalidad del vapor, sino solo una parte.

Cuando existe una manipulación incorrecta del equipo, este tiende a dañarse, presentado fugas internas o externas de vapor y condensado, por esto es necesario que el equipo sea manipulado por personal capacitado. Así se asegura el rendimiento óptimo de los recursos disponibles.

Si la red tiene más tubos de los necesarios o si está sub-dimensionada en relación con su diámetro, se utiliza un volumen de vapor menor al que realmente se necesita. Por ejemplo, si tenemos instalados cuatro equipos en serie que demandan vapor a una tasa de 0.05 kg/s, la dimensión de la tubería principal debe ser capaz de suministrar 0.20 kg/s para que cada equipo reciba lo que necesita. En caso contrario solamente algunos de los equipos trabajarán con la eficiencia deseada.

### **3. PROPUESTA PARA DETERMINAR EL AHORRO ENERGÉTICO**

Se encontraron pérdidas energéticas, en la red de distribución de vapor que, al ser tratadas, optimizarán el uso de vapor en la institución.

A través del diagrama de causa y efecto se especifican los problemas que se pudieron observar y las raíces que se deben tratar para encontrar una solución efectiva.

Luego de estos diagramas, se harán propuestas que estarán fundamentadas en cálculos matemáticos y conocimientos térmicos.

#### **3.1. Estudio de causa y efecto**

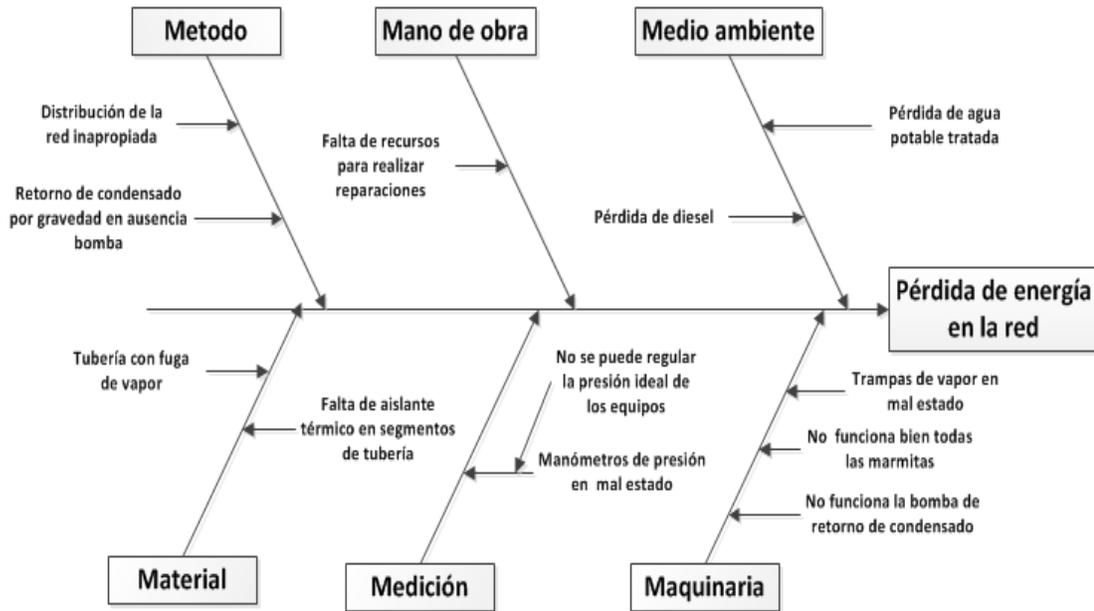
Si se ha identificado un problema que será objeto de estudio, se torna inevitable investigar las causas que originan la condición anormal. Cualquier problema es producido por agentes que pueden contribuir en una mayor o menor proporción al problema en cuestión.

El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento diseñado para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Su diseño permite visualizar las diferentes causas, que pueden estar presentes en un problema, facilitando la evaluación del grado de participación de cada una de estas causas. El Diagrama de causa y efecto es un gráfico con la siguiente información:

- El problema que se pretende diagnosticar.
- Las causas que posiblemente producen las pérdidas energéticas que se estudia.
- Un eje horizontal conocido como espina central o línea principal.
- El tema central que se estudia se ubica en uno de los extremos del eje horizontal. Este tema se sugiere encerrarlo con un rectángulo. Es frecuente que este rectángulo se dibuje en el extremo derecho de la espina central.
- Líneas o flechas inclinadas que llegan al eje principal. Estas representan los grupos de causas primarias en que se clasifican las posibles causas del problema en estudio.
- A las flechas que indican las causas primarias, llegan otras de menor tamaño, estas se conocen como causas secundarias y son las que afectan a las antes mencionadas.

A continuación, se presenta el diagrama de causa y efecto de las áreas sujetas a estudio.

Figura 2. Diagrama de causa y efecto



Fuente: elaboración propia, con el programa de Microsoft Visio 2010.

### 3.1.1. Equipos auxiliares de calderas

Son dispositivos que, colocados en el cuerpo de la caldera, permiten vigilar y controlar el buen funcionamiento de la misma. Los equipos auxiliares de calderas, en la actualidad, están trabajando adecuadamente y no presentan ningún problema.

### 3.1.2. Área de nutrición y dietética

En esta área hay equipos que utilizan vapor y no funcionan adecuadamente. Esto se debe a fallas en el sistema y en equipos que conducen el fluido.

### **3.1.3. Área de lavandería**

Al analizar el Área de Lavandería se encontraron algunas carencias como falta de manómetros de presión, para el control de las libras por pulgada cuadrada, que llega a los equipos y la ausencia de protección térmica.

### **3.1.4. Área de central de equipos**

En la Central de Equipos y esterilización se encontraron algunas pérdidas energéticas, producidas por equipos en mal estado, fugas de condensado y otras causas que deben corregirse para un mejorar el funcionamiento.

### **3.1.5. Costos directos e indirectos**

Se encontró en el sistema en general, pérdidas energéticas las cuales producen un consumo innecesario de combustible para producir vapor más allá de lo requerido por el sistema. Con estas pérdidas energéticas se incurre en gastos innecesarios para el hospital.

## **3.2. Propuesta de optimización energética**

En este segmento se plantean algunas propuestas con el objetivo de mejorar la red de distribución de vapor. De esta forma se puede aprovechar al máximo la energía que circula en ella. También se evitan los desperdicios de este recurso y el mal funcionamiento de los equipos.

### **3.2.1. Nuevo material para tuberías**

No es necesario colocar un nuevo material en las tuberías ya que las instaladas cumplen con las Normas ASTM para tuberías de vapor. Sin embargo, cada cambio que se realice en tuberías que presenten fugas debe hacerse conforme a lo indicado en tales normas.

### **3.2.2. Nueva red de distribución**

El único caso en que se hace necesaria una nueva red de distribución, es en el Área de Nutrición y Dietética. Esto se debe a que no todas las marmitas funcionan de manera adecuada porque la tubería principal de distribución no cuenta con el diámetro adecuado para cubrir la demanda que cada una de las marmitas necesita. Además, carece de manómetros los cuales sirven para garantizar que el fluido llegue a los equipos con la presión requerida.

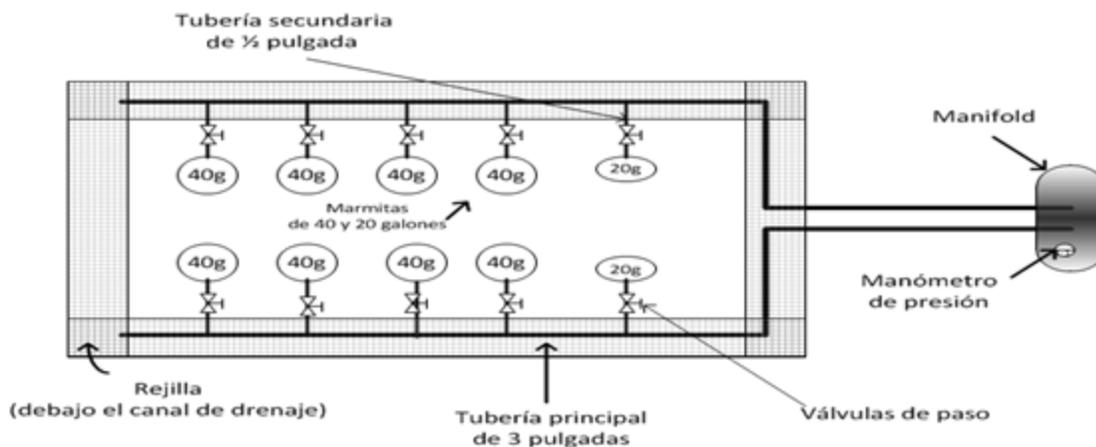
Se propone para esta área:

- Cambiar el diámetro de los tubos de las líneas principales de distribución de vapor de 1 pulgada por otra de 3 pulgadas ya que, de 10 marmitas, 4 funcionan bien y las otras tienen un funcionamiento deficiente. Al hacer el cambio propuesto se cubriría la demanda de vapor.
- Colocar un sistema de control de presión en un manifold que distribuirá vapor a las marmitas.
- Reparar el piso que deja al descubierto la tubería y colocar aislante térmico a la nueva que se instale para evitar pérdidas de calor.

- Eliminar las pequeñas fugas de vapor y condensado para que éstas no crezcan por carencia de mantenimiento.
- Agregar válvulas de cierre que permitan darle mantenimiento a la tubería de vapor o equipo si este lo requiere.

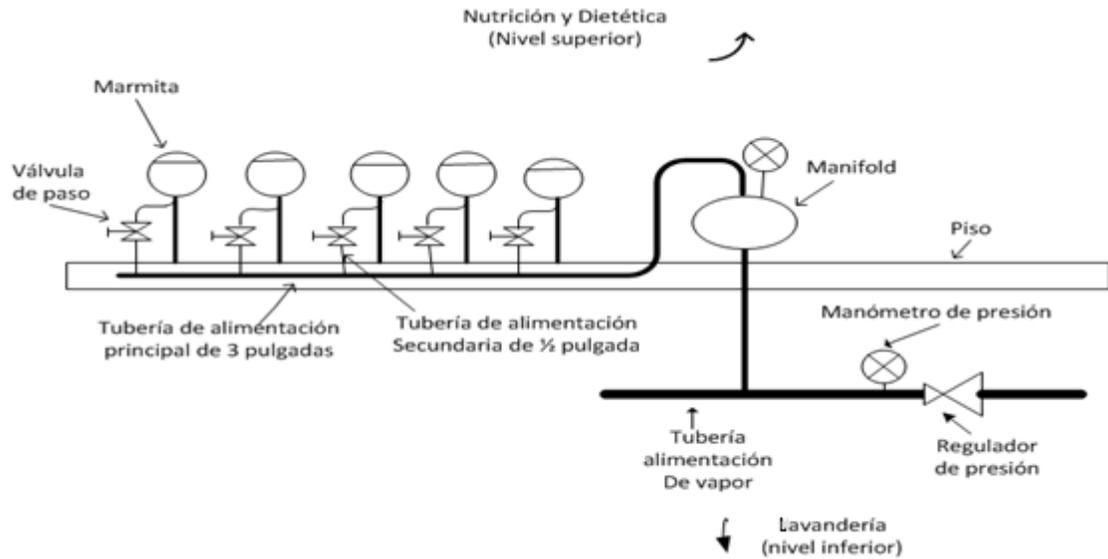
La distribución de vapor para esta área quedaría de la siguiente manera:

Figura 3. **Diagrama de equipo del área de nutrición y dietética (planta)**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

Figura 4. Diagrama de equipo área de nutrición y dietética (perfil)



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

### 3.2.3. Dimensiones apropiadas en los diámetros de la tubería

Los diámetros de distribución de vapor son los adecuados, exceptuando el caso del Área de Nutrición y Dietética, como se vio anteriormente. Este cambio se justifica con los siguientes cálculos:

Cálculo para determinar el flujo másico de vapor para llevar 40 galones de agua, de una temperatura de 26 grados centígrados a otra de 100 grados centígrados, en un tiempo de 15 minutos:

$$M_{\text{vapor}} = Q \cdot 1 / hfg = \text{flujo másico de vapor}$$

$$Q = Q_{\text{H}_2\text{O}} / \Delta t = \text{flujo de calor para calentar 40 galones de H}_2\text{O en 15 minutos}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Cp \cdot \Delta T = \text{calor necesario para calentar 40 galones de H}_2\text{O}$$

$$Q_{H_2O} = 131 \text{ kg} \cdot (1,86 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ \text{K}) \cdot (374,15^\circ \text{K})$$

$$Q_{H_2O} = 84\,586,569 \text{ kJ}$$

$$Q = 84\,586,569 \text{ kJ} / 900 \text{ s}$$

$$Q = 93,98 \text{ kJ/s}$$

$$M_{\text{vapor}} = Q \cdot \frac{1}{h_{fg}} = 93,98 \text{ kJ/kg} \cdot \frac{1}{939,3 \text{ btu} / \text{lbm}}$$

35psi → Anexo 4. Propiedad del agua saturada

$$M_{\text{vapor}} \text{ para una marmita} = 0,043 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{vapor}} \text{ para 5 marmitas} = 0,043 \text{ kg/s} \cdot 5 = 0,215 \text{ kg/s}$$

Cálculo del diámetro interno adecuado en la distribución de vapor para una de las líneas que alimenta 5 marmitas:

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot C}} = \text{en metros}$$

Donde:

D = diámetro interno de la tubería

V = flujo volumétrico de vapor =  $M \cdot v_s$

$M_{\text{vapor}}$  para 5 marmitas = 0,215 kg/s

C = velocidad de vapor = 40 m/s

$V_s$  = volumen específico = 0,74 m<sup>3</sup>/kg

35 psi → Anexo 4. Propiedad del agua saturada

$$V = 0,215 \text{ kg/s} \cdot 0,74 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = 0,1591 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot 0,1591 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 40 \text{ m/s}}}$$

$$D = 0,0711 \text{ m} \cong 2,8 \text{ pulgadas}$$

Se aproxima al inmediato superior; para este caso será de 3 pulgadas.

Cálculo de caída de presión ( $\Delta p$ )

$$\Delta p = f \cdot (\gamma \cdot (C / 2g)) \cdot L/D = (\text{N/m}^2)$$

Donde:

f = factor de fricción adimensional

L= longitud de tubería (7,49 m)

D= diámetro efectivo (0,0762m)

C= velocidad de vapor (40 m/s)

$\gamma$ = peso específico en  $\text{N/m}^3 = \rho \cdot g$

$\rho$ = densidad de vapor = M/V ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$ =  $(0,215 \text{ Kg/s}) / 0,1591 \text{ m}^3/\text{s} \cong 1,35 \text{ kg/m}^3$

g = gravedad =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$$\gamma = 1,35 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cong 13,23 \text{ N/m}^3$$

El factor f se estima a través del diagrama de relación de fricción y número de Reynolds. (Anexo 3). Utilizando el sistema inglés.

$N_{Re} = D \cdot G / 12 \cdot \mu =$  número de Reynolds

$\varepsilon/D =$  rugosidad relativa de superficie adimensional

Donde:

D=diámetro interior = 3 pulgadas

G= masa- velocidad =  $M/\text{Área (A)}$   $\left\{ \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^2 \cdot \text{hora}} \right\}$

$M_{\text{vapor}} = 0,215 \text{ kg/s} \cong 1\,702,8 \text{ lbm/h}$

$A = (\pi \cdot D^2) / 4 = (\pi \cdot 3^2) / 4 \cong 7,06 \text{ pulg}^2 \cong 0,048 \text{ pie}^2$

$G = (1\,702,8 \text{ lbm/h}) / 0,048 \text{ pie}^2 = 34\,751,0204 \left\{ \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^2 \cdot \text{hora}} \right\}$

$\mu =$  viscosidad absoluta =  $0,036 \left\{ \frac{\text{lbm}}{\text{pie} \cdot \text{hora}} \right\} \rightarrow$  según diagrama (anexo

2). Con una temperatura de 260 grados Fahrenheit según tabla de vapor a 35 psi.

$N_{Re} = [3 \text{ pulgadas} \cdot 34\,751,0204 \left( \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^2 \cdot \text{hora}} \right)] / [12 \cdot 0,036 \left( \frac{\text{lbm}}{\text{pie} \cdot \text{hora}} \right)] \cdot \text{por } 1$

pie como factor de conversión

$N_{Re} = 241\,326,5306 = 2,41326 \cdot 10^5$

$\varepsilon/D \cong 0,036 \rightarrow$  Según diagrama. (Anexo 1). Utilizando un diámetro de 3 pulgadas.

$f \cong 0,025 \rightarrow$  según tabla. (Anexo 3). Utilizando  $N_{Re} = 2,41326 \cdot 10^5$  &

$\varepsilon/D \cong 0,036$

$\Delta p = 0,025 \cdot \{13,23 \text{ N/m}^3 \cdot [(40 \text{ m/s})^2 / (2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)]\} \cdot (10 \text{ m} / 0,0762 \text{ m})$

$\cong 3\,539,69 \text{ N/m}^2$

$$\Delta p \cong 0,51 \text{ Lbf/pulg}^2$$

Siendo lo admisible para tuberías que transportan vapor a baja presión un  $\Delta p$  menor a 15 Lbf/pulg<sup>2</sup>.

Debido a que la caída de presión es relativamente pequeña para este sistema, se acepta como válido el diámetro de 3 pulgadas en las líneas principales que suministran vapor a cinco marmitas cada una.

### **3.2.4. Aislantes térmicos**

Existen tubos que no poseen aislante térmico o lo tienen muy deteriorado. Se propone colocar o cambiar protección térmica en los tubos que lo requieren ya que, al carecer de él, se generan pérdidas energéticas en el sistema.

Estas pérdidas se calcularon por áreas ya que cada una de ellas presentaba diferentes condiciones, como se muestra a continuación:

#### **3.2.4.1. Área de lavandería**

Para realizar los cálculos, se usó como referencia la temperatura exterior del tubo, obteniendo los siguientes datos para toda el Área de Lavandería:

Temperatura ambiente: 27 grados centígrados

Temperatura de pared externa de tubería: 60 grados centígrados

Horas que trabaja la caldera: 13/día

Poder calorífico del diésel: de 10 500 a 10 680 kcal/kg. Se usará un poder de 10 350 kcal/kg debido a pérdidas por radiación en la caldera.

$$Q_v = \text{calor transferido en kcal/hora} = F \cdot a \cdot (t_w - t_L)$$

Donde:

F= superficie de la tubería = diámetro (m)\*  $\pi$ \*longitud = m<sup>2</sup>

a= coeficiente de transmisión térmica de la pared de la tubería al aire en kcal/m<sup>2</sup>.h.grd.

tw= temperatura de pared externa a tubería, en °C

tL= temperatura del aire ambiental en °C

El coeficiente de transmisión térmica se halla mediante la fórmula:

$$a = 8,2 + 0,0073(tw)^{\sqrt[3]{tw}}$$

$$\text{Dónde: } a=8,2+0,00733*(60)^{\sqrt[3]{60}} = 9,92 \text{ kcal/m}^2.\text{h.grd.}$$

Las pérdidas de calor en esta área se calcularon para distintos diámetros de tubería como se muestra a continuación:

Tubería de ½ pulgada (metros sin aislar 23)

$$F=0,0127 \text{ m}*\pi*23 \text{ m}=0,92 \text{ m}^2$$

$$Qv=0,92 \text{ m}^2*9,92 \text{ kcal/m}^2.\text{h.grd} *(60-27) \text{ grd} =301,17 \text{ kcal/h}$$

$$Qv= 301,17 \text{ kcal/h} *4,745 \text{ h/año} = 1 429 051,65 \text{ kcal/año}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Qv= 1 429 051,65 \text{ kcal/año} * 0,8 = 1 143 241,32 \text{ kcal/año}$$

Tubería de 2 pulgadas (metros sin aislar 4)

$$F=0,0508 \text{ m}*\pi*4 \text{ m}=0,6384 \text{ m}^2$$

$$Qv=0,6384 \text{ m}^2*9,92 \text{ kcal/m}^2.\text{h.grd} *(60-27) \text{ grd} =208,99 \text{ kcal/h}$$

$$Qv= 208,99 \text{ kcal/h} *4 745 \text{ h/año} = 991 657,55 \text{ kcal/año}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 991\,657,55 \text{ kcal/año} * 0,8 = 793\,326,04 \text{ kcal/año}$$

Tubería de 2 1/2 pulgadas (metros sin aislar 5)

$$F = 0,0635 \text{ m} * \pi * 5 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$$

$$Q_v = 1 \text{ m}^2 * 9,92 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd} * (60-27) \text{ grd} = 327,36 \text{ kcal/h}$$

$$Q_v = 327,36 \text{ kcal/h} * 4\,745 \text{ h/año} = 1\,553\,323,2 \text{ kcal/año}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 1\,553\,323,2 \text{ kcal/año} * 0,8 = 1\,242\,658,56 \text{ kcal/año}$$

Tubería de 3 pulgadas (metros sin aislar 8)

$$F = 0,0762 * \pi * 8 = 1,92 \text{ m}^2$$

$$Q_v = 1,92 \text{ m}^2 * 9,92 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd} * (60-27) \text{ grd} = 628,53 \text{ kcal/h}$$

$$Q_v = 628,53 \text{ kcal/h} * 4\,745 \text{ h/año} = 2\,982\,374,85 \text{ kcal/año}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 2\,982\,374,85 \text{ kcal/año} * 0,8 = 2\,385\,899,88 \text{ kcal/año}$$

Tubería de 4 pulgadas (metros sin aislar 8)

$$F = 0,1016 * \pi * 8 = 2,55 \text{ m}^2$$

$$Q_v = 2,55 \text{ m}^2 * 9,92 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd} * (60-27) \text{ grd} = 834,77 \text{ kcal/h}$$

$$Q_v = 834,77 \text{ kcal/h} * 4,745 \text{ h/año} = 3\ 960\ 983,65 \text{ kcal/año}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 3\ 960\ 983,65 \text{ kcal/año} * 0,8 = 3\ 168\ 786,92 \text{ kcal/año}$$

### 3.2.4.2. Área de nutrición y dietética

Se usó como referencia la temperatura interna de vapor que circula por la tubería para realizar los cálculos en esta área.

$$Q_v = \text{calor transferido en kcal/hora} = F * k * (\Delta T)$$

Datos:

Diámetro de tubería de alimentación: 1 pulgada  $\cong$  0,0254 m

Longitud sin aislar  $\cong$  11 m para las 10 marmitas

Temperatura ambiente  $\cong$  27 grados Celsius

Temperatura de vapor  $\cong$  126 grados Celsius

$$F = \text{Área superficial} = 0,0254 \text{ m} * \pi * 11 \text{ m} \cong 0,88 \text{ m}^2$$

K = índice de transmisión de calor en kcal/m<sup>2</sup>.h.grd.

$$\cong 13,04 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C a } 126 ^\circ\text{C}$$

$$Q_v = 0,88 \text{ m}^2 * 13,04 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} * (126 - 27) ^\circ\text{C} \cong 113\ 6045 \text{ kcal/hora}$$

Mediante aislante térmico se debe evitar 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 113\ 6045 \text{ kcal/hora} * 0,8 = 90,88 \text{ kcal/h} * 4745 \text{ h/año} \cong 431\ 225,6 \text{ kcal/año.}$$

### 3.2.4.3. Área de central de equipos y esterilización

Para realizar los cálculos se usó como referencia la temperatura interna de vapor y la de condensando que circula por la red en esta área. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tubería que transporta vapor

$$Q_v = \text{calor transferido en kcal/hora} = F \cdot k \cdot (\Delta T)$$

Diámetro de tubería de alimentación: 6 pulgadas  $\cong$  0,1524 m

Longitud sin aislar  $\cong$  30 m por aislante deteriorado

Temperatura ambiente  $\cong$  27 grados Celsius

Temperatura de vapor  $\cong$  149 grados Celsius

$$F = \text{Área superficial} = 0,1524 \text{ m} \cdot \pi \cdot 30 \text{ m} \cong 14,36 \text{ m}^2$$

"K<sup>3</sup> = índice de transmisión de calor en kcal/m<sup>2</sup>.h.grd.  $\cong$  14 kcal/m<sup>2</sup> h °C a 149 °C."<sup>3</sup>

$$Q_v = 14,36 \text{ m}^2 \cdot 14 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} \cdot (149 - 27) ^\circ\text{C} \cong 24\,526,88 \text{ kcal/h}$$

Mediante aislante se debe evitar el 80% de las pérdidas.

$$Q_v = 24\,526,88 \text{ kcal/hora} \cdot 0,8 \cong 19\,621,504 \text{ kc/h}$$

---

<sup>3</sup> *Guía para el análisis y evaluación de calderas y redes de distribución de vapor* [en línea]. [http:// documents.mx/documents/1-guia-para-el-analisis-y-evaluacion-de-calderas.html](http://documents.mx/documents/1-guia-para-el-analisis-y-evaluacion-de-calderas.html) [Consulta: enero de 2016].

Tubería que transporta condensado

$Q_v = \text{calor transferido en kcal/hora} = F \cdot k \cdot (\Delta T)$

Diámetro de tubería de alimentación: 6 pulgadas  $\cong 0,1524$  m

Longitud sin aislar  $\cong 30$  m por aislante deteriorado

Temperatura ambiente  $\cong 27$  grados Celsius

Temperatura de vapor  $\cong 49$  grados Celsius

$F = \text{Área superficial} = 0,1524 \text{ m} \cdot \pi \cdot 30 \text{ m} \cong 14,36 \text{ m}^2$

$K = \text{índice de transmisión de calor} \cong 8,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$  para condensado

$Q_v = 14,36 \text{ m}^2 \cdot 8,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} \cdot (49-27)^\circ\text{C} \cong 2\,685,32 \text{ kcal/hora}$

Mediante aislante se debe evitar el 80% de las pérdidas.

$Q_v = 2\,685,32 \text{ kcal/hora} \cdot 0,8 \cong 2\,148,256 \text{ kc/h}$

### **3.2.5. Revisión y acoplamiento de las especificaciones**

En este segmento se analizó, el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los diversos equipos que están en funcionamiento dentro del hospital. El propósito fue determinar cuáles se necesitan cambiar o complementar para optimizar el uso de vapor.

#### **3.2.5.1. Drenaje e ingreso de vapor**

El drenaje de vapor se hace cuando el líquido pasa de ser vapor a ser líquido condensado. Una parte se desecha y otra retorna al tanque que alimenta a la caldera.

Se propone que se repare la bomba que debe llevar el condensado del túnel al tanque de retorno porque no funciona y genera deficiencias en parte de la red. A continuación, se mencionan las deficiencias:

- Actualmente las autoclaves se tardan entre 30 y 40 minutos en retirar la humedad de la cámara debido a que el vapor es húmedo por la presencia de condensado. Este condensado se encuentra en la tubería y el túnel; en ausencia de una bomba que retire este fluido retorna a las autoclaves que lo han desechado.
- Daños en la tubería de distribución de vapor. Esto se debe a que el agua es un elemento que corroe el metal y lo daña. Si la tubería no se retira, se pone en riesgo la integridad del sistema de distribución.
- Aproximadamente 165 galones de condensado acumulado en el túnel no se pueden recuperar, a menos que se cuente con el equipo adecuado; en este caso una bomba para succionar agua.

### **3.2.5.2. Uniones**

Todas las uniones o juntas en la red de distribución de vapor están en buenas condiciones y no requieren cambio. Sin embargo, se recomienda que se limpien y se inspeccionen periódicamente.

### **3.2.5.3. Trampa de vapor**

Debido a la importancia de las trampas de vapor se propone que se les dé mantenimiento preventivo y correctivo cada seis meses para mejorar su rendimiento. De esta manera, se determinará cuáles necesitarían ser cambiadas a corto plazo.

Al área de Central de Equipos no se accede con facilidad y en ella hay trampas de vapor que deben ser evaluadas ya que pueden estar dañadas por la acumulación de condensado en el túnel.

### **3.2.5.4. Válvulas**

Los distintos tipos de válvulas del hospital están trabajando adecuadamente en las diferentes áreas; sin embargo, carecen de un plan de mantenimiento que permita prevenir o corregir fallas. Se debe realizar un plan que permita verificar el estado de cada una de las válvulas cada seis meses para corregir o prevenir fallos.

### **3.2.5.5. Manómetros**

Para llevar un mejor control de la presión de servicio de vapor es necesario colocar manómetros en Nutrición y Dietética, donde no existe ninguno y agregar dos manómetros en Lavandería ya que solamente existen dos y no es fácil acceder a ellos.

### **3.2.5.6. Presión de trabajo de equipos**

Para llevar un control más estricto de la presión de servicio, se propone capacitar al personal que trabaja en las distintas áreas, para que ellos revisen los manómetros de presión, periódicamente, e informen cualquier anomalía al Departamento de Mantenimiento.

### **3.3. Factores económicos**

La pérdida energética incide en la inversión económica que el hospital podría utilizar de una manera más eficiente; por ejemplo, en la compra de mobiliario y equipo necesarios para ofrecer mejor servicio a los pacientes.

#### **3.3.1. Costo de la producción de vapor**

Se deben analizar periódicamente el costo de producción de vapor para determinar si hay alguna variación en este, si la variación está por encima de lo esperado es porque en alguna parte del sistema, hay pérdidas de energía ya sea por fugas de vapor, equipo en mal estado o daños en el aislante térmico. Estas acciones permitirán utilizar, de manera adecuada, los recursos económicos del hospital.

#### **3.3.2. Costo por pérdidas de vapor**

Se detectaron dos fugas en la tubería que suministra vapor a los calentadores en el cuarto de máquinas las cuales representan pérdidas para el Hospital General San Juan de Dios.

## Pérdida 1

Existe un agujero de un diámetro aproximado de 1/8 de pulgada, por donde sale el vapor y para calcular el vapor/segundo que pasa por allí, se utilizó la ecuación de Grashof:

$$M_V = [0,0165] * [\text{Área del agujero}] * [P_{ABS}]^{0,97}$$

$$M_V = [0,0165] * [0,01227] * [114,7 \text{ PSI}]^{0,97}$$

$$M_V = [0,020145 \text{ lb. m. vapor/s}] * [3 600 \text{ s/h}]$$

$$M_V = 72,522 \text{ lb. m. vapor/hora}$$

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

$$Q = [M_V] * [\text{Entalpía de vapor (hg) a 100 PSI}]$$

$$Q = [72,522 \text{ lb. m. vapor/hora}] * [1 187,8 \text{ BTU/lb. m. vapor}]$$

$Q = 86 141,63 \text{ BTU/hora}$ , que es la cantidad de calor equivalente por el vapor que se pierde por ese respiradero.

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

$$\text{Gal} = [Q \text{ BTU/h}] * [\text{Contenido calorífico de un galón de diésel}]$$

$$\text{Gal} = [86 141,63 \text{ BTU/h}] * [1 \text{ Gal}/141 000 \text{ BTU}]$$

$$\text{Gal} = 0,61 \text{ Gal. diésel/hora}$$

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

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

$\text{Gasto} = [0,61 \text{ Gal. diésel/hora}] * [4 745 \text{ h/año}] \cong 2 894,45 \text{ Galones diésel/año}$ , que se escapan a la atmósfera por vapor de agua no utilizado

Entonces,

$$\text{Costo} = [2\,894,45 \text{ gal año}] \cdot [Q\,30,00]$$

$$\text{Costo} = 86\,833,55 \text{ quetzales/año, por fuga de vapor}$$

Pérdida 2

Existe un agujero con un diámetro aproximado de 1/32 pulgada, por donde sale el vapor y, para calcular el vapor/segundo que pasa por allí, se usa la ecuación de Grashof:

$$M_V = [0,0165] \cdot [\text{Área del agujero}] \cdot [P_{\text{ABS}}]^{0,97}$$

$$M_V = [0,0165] \cdot [0,000767] \cdot [114,7]^{0,97}$$

$$M_V = [0,00126 \text{ lb. m. vapor/s}] \cdot [3\,600 \text{ s/h}]$$

$$M_V = 4,53 \text{ lb. m. vapor/hora}$$

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

$$Q = [M_V] \cdot [\text{Entalpía gas (hg) a 100 PSI}]$$

$$Q = [4,53 \text{ lb. m. vapor/hora}] \cdot [1\,187,8 \text{ BTU/lb. m. vapor}]$$

$Q = 5\,387,86 \text{ BTU/hora}$ , que es la cantidad de calor equivalente que se pierde por esa fuga de vapor en el túnel.

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

$$\text{Gal} = [Q \text{ BTU/h}] \cdot [\text{Contenido calorífico de un galón de diésel}]$$

$$\text{Gal} = [5\,387,86 \text{ BTU/h}] \cdot [1 \text{ Gal}/141\,000 \text{ BTU}]$$

$$\text{Gal} = 0,038 \text{ Gal. diésel/hora} *$$

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

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

$$\text{Gasto} = [0,038 \text{ gal/h}] * [4 745 \text{ h/año}] = 180,31 \text{ gal/año}$$

Entonces

$$\text{Costo} = [180,31 \text{ gal/año}] * [\text{Q } 30,00]$$

$$\text{Costo} = 5 409,3 \text{ quetzales/año, por escape de vapor}$$

### 3.3.3. Costos indirectos

Estos son producto de las pérdidas energéticas en kilocalorías-año, por aislante en mal estado o ausencia de este en las distintas áreas, como se presenta a continuación:

Lavandería

Tubería de ½ pulgadas (metros sin aislar 23)

$$Q_v = 1 143 241,32 \text{ kcal/año}$$

$$M_{\text{diésel}} = \frac{Q_v}{\text{Poder calorífico de diésel}} = \frac{1 143 241,32 \text{ kcal/año}}{10 350 \text{ kcal/kg}} = 110,46 \text{ kg/año}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \frac{M_{\text{diésel}}}{\text{Densidad de diésel}} = \frac{110,46 \text{ kg/año}}{850 \text{ kg/m}^3} = 0,13 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\begin{aligned} \text{Galones de diésel} &= 0,13 \text{ m}^3/\text{año} * 263,85 \text{ galones/m}^3 \\ &= 34,30 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de diésel} &= 34,30 \text{ galones} * 30 \text{ quetzales/galón} \\ &= 1 029,00 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Tubería de 2 pulgadas (metros sin aislar 4)

$$Q_v = 793\,326,04 \text{ kcal/año}$$

$$M_{\text{diésel}} = \frac{Q_v}{\text{Poder calorífico de diésel}} = \frac{793\,326,04 \text{ kcal/año}}{10\,350 \text{ kcal/kg}} = 76,65 \text{ kg/año}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \frac{M_{\text{diésel}}}{\text{Densidad de diésel}} = \frac{76,65 \text{ kg/año}}{850 \text{ kg/m}^3} = 0,090 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\begin{aligned} \text{Galones de diésel} &= 0,090 \text{ m}^3/\text{año} * 263,85 \text{ galones/m}^3 \\ &= 23,75 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de diésel} &= 23,75 \text{ galones} * 30 \text{ quetzales/galón} \\ &= 712,5 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Tubería de 2 1/2 pulgadas (metros sin aislar 5)

$$Q_v = 1\,242\,658,56 \text{ kcal/año}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{diésel}} &= \frac{Q_v}{\text{Poder calorífico de diésel}} = \frac{1\,242\,658,56 \text{ kcal/año}}{10\,350 \text{ kcal/kg}} \\ &= 120,06 \text{ kg/año diésel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de diésel} &= \frac{M_{\text{diésel}}}{\text{Densidad de diésel}} = \frac{120,06 \text{ kg/año}}{850 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,141 \text{ m}^3/\text{año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Galones de diésel} &= 0,141 \text{ m}^3/\text{año} * 263,85 \text{ galones/m}^3 \\ &= 37,20 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\text{Ahorro de diésel} = 37,20 \text{ galones} * 30 \text{ quetzales/galón}$$

$$= 1\,116,00 \text{ quetzales}$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión en aislante} &= (61,6 \text{ quetzales}/91,4\text{cm}) * 400 \text{ cm} \\ &= 269,58 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Tubería de 3 pulgadas (metros sin aislar 8)

$$Q_v = 2\,385\,899,88 \text{ kcal/año}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{diésel}} &= \frac{Q_v}{\text{Poder calorífico de diésel}} = \frac{2\,385\,899,88 \text{ kcal/año}}{10\,350 \text{ kcal/kg}} \\ &= 230,52 \text{ kg/año diésel} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \frac{M_{\text{diésel}}}{\text{Densidad de diésel}} = \frac{230,52 \text{ kg/año}}{850 \text{ Kg/m}^3} = 0,27 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\begin{aligned} \text{Galones de diésel} &= 0,27 \text{ m}^3/\text{año} * 263,85 \text{ galones/m}^3 \\ &= 71,24 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de diésel} &= 71,24 \text{ galones} * 30 \text{ quetzales/galón} \\ &= 2\,137,2 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión en aislante} &= (72,64 \text{ quetzales}/91,4\text{cm}) * 800 \text{ cm} \\ &= 635,80 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Tubería de 4 pulgadas (metros sin aislar 8)

$$Q_v = 3\,168\,786,92 \text{ kcal/año}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{diésel}} &= \frac{Q_v}{\text{Poder calorífico de diésel}} = \frac{3\,168\,786,92 \text{ kcal/año}}{10\,350 \text{ kcal/kg}} \\ &= 306,16 \text{ kg/año diésel} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \frac{M_{\text{diésel}}}{\text{Densidad de diésel}} = \frac{30,16 \text{ kg/año}}{850 \text{ kg/m}^3} = 0,36 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\begin{aligned} \text{Galones de diésel} &= 0,36 \text{ m}^3/\text{año} * 263,85 \text{ galones/m}^3 \\ &= 95,00 \text{ galones} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costos indirectos en diésel} &= 95,00 \text{ galones} * 30 \text{ quetzales/galón} \\ &= 2 850 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Área de retorno de condensado

Tubería de vapor

$$Q_v = 19 621,504 \text{ kc/h}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \left\{ \frac{\text{Calor transferido en kcal/h}}{\text{Poder calorífico diésel kc/kg}} \right\} * \left\{ \frac{\text{Factor de conversión a galones}}{\text{Densidad de diésel kg/m}^3} \right\}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{diésel}} &= \left\{ \frac{19 621,504 \text{ kc/h}}{10 350 \text{ Kc/Kg}} \right\} * \left\{ \frac{263,85 \text{ g/m}^3}{850 \text{ kg/m}^3} \right\} \cong 0,50 \text{ gal/h} * 4 745 \text{ h/año} \\ &= 2 799,55 \text{ gal/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costos indirectos en diésel} &= 2 799,55 \text{ gal/año} * Q30,00/\text{gal} \\ &= Q83 986,5/\text{año} \end{aligned}$$

Tubería de condensado

$$Q_v = 2 148,256 \text{ kc/h}$$

$$\text{Volumen de diésel} = \left\{ \frac{\text{Calor transferido en kcal/h}}{\text{Poder calorífico diésel kc/kg}} \right\}$$

$$* \left\{ \frac{\text{Factor de conversión a galones}}{\text{Densidad de diésel kg/m}^3} \right\}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{diésel}} &= \left\{ \frac{2 148,256 \text{ kc/h}}{10 350 \text{ kc/kg}} \right\} * \left\{ \frac{263,85 \text{ g/m}^3}{850 \text{ kg/m}^3} \right\} \cong 0,064 \text{ gal/h} * 4 745 \text{ h/año} \\ &= 303,68 \text{ gal/año} \end{aligned}$$

Costos indirectos en diésel= 303,68 gal/año \* Q 30,00/gal  
= Q 9 110,4/año.

### **3.3.4. Inversión**

A continuación, se presenta la inversión aproximada que debe realizar el hospital, para eliminar las pérdidas energéticas y para mejorar el rendimiento del uso de vapor. Esta inversión generará para la institución: beneficios energéticos, de productividad y económicos.

#### **3.3.4.1. Cuarto de máquinas**

Reparación de fugas de 1/8 y 1/32 de pulgadas en la tubería que alimenta a los calentadores tiene un costo aproximado de 400,00 quetzales por fuga, para un total de 800,00 quetzales.

#### **3.3.4.2. Lavandería**

Tubería de ½ pulgada (metros sin aislar 23)

Inversión en aislante= (32 quetzales/91,4cm) \*2 300 cm = 805,26 quetzales

Tubería de 2 pulgada (metros sin aislar 4)

Inversión en aislante= (51,33 quetzales/91,4 cm) \*400 cm = 224,63 quetzales

Tubería de 2 1/2 pulgadas (metros sin aislar 5)

Inversión en aislante= (61,6 quetzales/91,4 cm) \*400 cm = 269,58 quetzales

Tubería de 3 pulgadas (metros sin aislar 8)

Inversión en aislante= (72,64 quetzales/91,4 cm) \*800 cm = 635,80 quetzales

Tubería de 4 pulgadas (metros sin aislar 8)

Inversión en aislante=  $(94,39 \text{ quetzales}/91,4 \text{ cm}) * 800 \text{ cm} = 826,17 \text{ quetzales}$

La inversión total que debe realizar el hospital en los equipos es de 3 561,44 quetzales para optimizar la distribución de vapor.

### **3.3.4.3. Área de retorno de condensado**

Tubería de vapor (metros sin aislar 30)

Inversión en aislante  $\cong (141,00 \text{ quetzales}/91,4 \text{ cm}) * 3 000 \text{ cm} = 4 628 \text{ quetzales}$

Tubería de condensado (metros sin aislar 30)

Inversión en aislante  $\cong (141,00 \text{ quetzales}/91,4 \text{ cm}) * 3 000 \text{ cm} = 4 628 \text{ quetzales}$

El Área de Nutrición y Dietética fue modificada en el proceso de investigación, razón por la que no se presenta ninguna inversión sino únicamente el diseño con fines didácticos.

### **3.3.5. Beneficios térmicos y económicos**

Actualmente, el hospital consume 240 galones diarios en diésel para la producción de vapor; anualmente representa 87 600 galones de diésel gastados, con un valor de Q2 628 000,00

Tabla I. **Resumen de beneficios**

<b>Área</b>	<b>Ahorro (kc/año)</b>	<b>Ahorro (Q/año)</b>	<b>Descripción</b>
Lavandería	8 733 912,72	7 844,7	Colocar aislante térmico
Túnel	101 882 476,8	93 096,9	Colocar aislante térmico
Cuarto de máquinas	23 065,43	92 242,85	Reparar fugas de vapor
<b>Total</b>	<b>110 639 455,00</b>	<b>109 484,45</b>	

Fuente: elaboración propia.

Al realizar los ajustes necesarios en la red, el hospital puede ahorrar 109 484,45 quetzales al año por consumo de diésel, si realiza una inversión única de 13 617,44 quetzales en materia prima y tomando en cuenta que el hospital tiene el personal necesario para realizar los cambios en la red.

Se recomienda realizar los cambios propuestos en este documento ya que, con esto, el hospital General San Juan de Dios, obtendría un ahorro anual de Q 95 867,01 el cual puede ser destinado para mejorar los equipos utilizados en el cuidado de los pacientes que allí residen.

### **3.3.6. Optimización del tiempo**

Al reparar las distintas áreas se reducirá considerablemente el tiempo en que los equipos realizan su trabajo, haciéndolos más productivos. Así, por ejemplo, las autoclaves no tendrán que esperar hasta 40 minutos para su uso y podrán ser más eficientes en la esterilización de material quirúrgico y de uso de laboratorio clínico. Se aumentan, así las probabilidades de tener listo el material necesario para realizar las actividades, propias de un hospital.

El Área de Nutrición y Dietética podrá utilizar las 10 marmitas y no solamente 4. Esto ayudará para que el área de cocina pueda, con mayor facilidad, anticiparse a las necesidades gastronómicas de cada uno de los pacientes según su edad y estado clínico; además, podrá brindar comida a tiempo a los médicos y trabajadores que laboran en el hospital General San Juan de Dios.



## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

El desarrollo sostenible, el mantenimiento constante de los equipos, ahorro de agua potable y cuidado del medio ambiente son aspectos muy importantes que se deben considerar como parte fundamental del ahorro energético. Estos puntos serán tratados a continuación para crear lineamientos que el Hospital General San Juan de Dios pueda aplicar.

### 4.1. Desarrollo sostenible

“El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”.<sup>4</sup>

En una institución pública como el Hospital San Juan de Dios, la creación de políticas que permitan tener un desarrollo sostenible es vital para dar a las generaciones futuras un ambiente capaz de satisfacer sus propias necesidades.

Para ello, el hospital debe contar con un sistema que controle el estado y funcionamiento correctos de cada una de sus áreas.

La distribución de los recursos económicos debe ser justa, eficiente y capaz de satisfacer las necesidades humanas. Deben evitarse los costos innecesarios producidos por diversas razones.

---

<sup>4</sup> MCKEOWN, Rosalyn, Ph. D. Manual de educación para el desarrollo sostenible. [en línea]. [http://www.esdtoolkit.org/Manual\\_EDS\\_esp01.pdf](http://www.esdtoolkit.org/Manual_EDS_esp01.pdf). [Consulta: enero de 2016].

Se debe maximizar la eficiencia, reducir el uso de productos desechables y reducir la cantidad de desechos.

La atención médica debe ser la adecuada para las familias, sin discriminación de género, denominación o edad. Para ello, debe contar con equipo en perfecto estado.

#### **4.1.1. Estrategia de gestión económica**

Para mejorar la estrategia de gestión económica se consideraron algunos puntos importantes para alcanzar una mejora continua, de acuerdo con los recursos asignados.

- Los gastos de cada uno de los departamentos se ajustarán al presupuesto asignado, ya que, si exceden el monto asignado, es posible que pongan en riesgo a otros departamentos que también requieren o necesitan el recurso económico.
- Designar a una persona profesional que determine, de manera objetiva, si cada departamento tiene el presupuesto que realmente necesita, de tal manera que pueda proponer el monto ideal, para que trabajen eficientemente.
- Observar puntos de mejora a través de la inversión en equipos nuevos que disminuyan el tiempo de servicio. Esto, probablemente, represente una disminución en el costo de la mano de obra, la cual puede ser aprovechada para realizar más operaciones dentro de su labor.

- Determinar un plazo máximo para la tramitación de facturas, de tal manera que haya suficiente flujo de efectivo para realizar con eficiencia las operaciones propias de cada departamento.
- Continuar con el desarrollo de la contabilidad de costes; garantizando que esta refleje la realidad del coste de la actividad de cada departamento dentro del hospital General San Juan de Dios.

La mejora continua de la calidad debe hacer compatible la gestión eficiente de los recursos con un alto nivel de calidad de los servicios prestados. La necesaria convivencia de calidad y eficiencia obliga al Hospital General San Juan de Dios a renovar las infraestructuras, la incorporación de nuevas tecnologías y la mejora del conocimiento de los profesionales que lo conforman.

La función pública del hospital General San Juan de Dios permite que ofrezcan servicio a pacientes de distintos departamentos, incluso de algunos países vecinos como El Salvador y Honduras.

El hospital atiende pacientes de diferentes edades, etnias y géneros. Todos, sin excepción, deben diagnosticarse y asignárseles medicina con la prontitud pertinente. Esto se puede lograr por medio de una asignación correcta de los recursos y una ampliación en la infraestructura en la medida que la demanda lo requiera.

Los proveedores y los trabajadores externos al hospital General San Juan de Dios deben ser constantemente fiscalizados y evaluados para verificar que los recursos o servicios que ellos brindan cumplan con los parámetros de calidad y de costo.

Esta verificación permite garantizar que las nuevas generaciones cuenten con un personal ordenado y honesto que brinda un servicio de calidad a un precio justo, según lo establecido en esta entidad.

Los profesionales y personal que labora dentro del hospital General San Juan de Dios, deben ser evaluados constantemente y coadyuvar en la superación de sus carencias mediante un sistema de capacitación constante. De esta manera se podrá contar con un personal altamente calificado cuyo desempeño evidencie un alto grado de eficiencia, eficacia y profesionalismo.

## **4.2. Mantenimiento**

El mantenimiento es esencial para generar un desarrollo sostenible dentro de una institución de salud pública como el hospital San Juan de Dios. Ayuda a que el mobiliario, equipo y el sistema de producción de vapor se mantengan en buenas condiciones durante un largo tiempo. Los tipos de mantenimiento más utilizados son los siguientes:

### **4.2.1. Mantenimiento correctivo**

Actualmente, es el más utilizado por la institución. El mantenimiento correctivo se utilizará como la acción que emana de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. Este es necesario para mantener el sistema funcionando lo cual resulta indispensable para una institución que presta servicios tan importantes como los de salud pública.

#### **4.2.2. Mantenimiento preventivo**

Como su nombre lo indica, el mantenimiento preventivo se diseñó con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos. Para ello, utiliza datos sobre los distintos sistemas y subsistemas e inclusive partes de ellos.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo. Este permite realizar cambios de subensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etcétera en la maquinaria, equipos e instalaciones para evitar fallos.

Dentro de este tipo de mantenimiento se encuentra el predictivo el cual consiste en tareas de seguimiento del estado y desgaste de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas o análisis por evaluación estadística, que determinen el punto exacto de su sustitución.

En algunos casos, la institución carece de un plan de mantenimiento preventivo. Si esto no se corrige, gran parte de los equipos colapsarán y se incurrirá en gastos innecesarios por reparaciones mayores o cambios que pudieron evitarse o corregirse.

Por otra parte, es necesario que se tomen las medidas necesarias para supervisar los mantenimientos, ya que pueden ser realizados sin darles la debida importancia, poniendo en riesgo la vida útil de los equipos.

### **4.2.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación, para anticiparse a la falla por medio de un pronóstico del tiempo en cuando podría ocurrir.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que permitirá calcular o prever, con cierto margen de error, cuándo un equipo fallará. Por ese el motivo se denominan técnicas predictivas. Por ejemplo, si la gráfica de un valor de vibración correspondiente a un cojinete, presenta una tendencia indicando una alteración negativa en comportamiento de los rodamientos, es conveniente reemplazar el cojinete. Si no se realiza, el cojinete terminará fallando.

Frente al mantenimiento sistemático por horas de funcionamiento o por tiempo transcurrido desde la última revisión, el mantenimiento predictivo tiene la ventaja indudable de que en la mayoría de las ocasiones no es necesario realizar grandes desmontajes y, en muchos casos, ni siquiera es necesario parar la máquina.

Generalmente, son técnicas no invasivas. Si tras la inspección se aprecia algo irregular se propone o se programa una intervención. Además de prever el fallo catastrófico de una pieza, y por tanto, anticiparse a éste. Las técnicas de mantenimiento predictivo ofrecen una ventaja adicional: la compra de repuestos se realiza cuando se necesita, eliminando *stocks* (capital inmovilizado).

Las técnicas predictivas más habituales en instalaciones industriales son las siguientes:

- Análisis de vibraciones, considerada por muchos como la técnica estrella dentro del mantenimiento predictivo.
- Termografías.
- Boroscopias.
- Análisis de aceites.
- Análisis de ultrasonidos.
- Análisis de humos de combustión.

Existen otras técnicas predictivas de sencilla aplicación que, normalmente, no se consideran como tales pero que de hecho lo son: inspecciones visuales y lecturas de indicadores. Debido al costo elevado de los equipos de predicción se sugiere llevar un control de horas de servicio y técnicas sencillas como las mencionadas con anterioridad. Así, se podrá anticipar al fallo de los equipos, se mejorarán los procesos de mantenimiento y se restablecerá la operación dentro del Hospital General San Juan de Dios.

#### **4.2.4. Plan de mantenimiento**

Se sugiere el siguiente plan, como guía para realizar el mantenimiento de los equipos, de tal manera que estos puedan funcionar durante un largo periodo sin poner en riesgo las operaciones del hospital.

## Plan de mantenimiento

Lavadora		Frecuencia
1	Reporte de anomalías	Diaria
2	Revisión de cojinetes y fajas de transmisión	Diaria
3	Verificación del estado del anclaje	Diaria
4	Inspección del estado y montaje del cilindro	Diaria
5	Inspección del estado de la canasta	Diaria
6	Limpieza de cámara de ventilación	Semanal
7	Revisión de amortiguadores	Semanal
8	Revisión de mecanismos de puertas	Semanal
9	Inspección y ajuste de sistema de freno	Semestral
10	Verificar funcionamiento del sistema eléctrico	Mensual

Secadora		Frecuencia
1	Reporte de anomalías	Diaria
2	limpieza de la trampa de mota y su ducto	Diaria
3	Inspección de correas de transmisión de motores	Diaria
4	Limpieza de serpentines	Seminal
5	Lubricación de rodamientos de fricción	Semanal
6	Revisión del sistema eléctrico	Mensual

Planchadora de rodillos		Frecuencia
1	Reporte de anomalías	Diaria
2	Engrase general	Semanal
3	Revisión de niveles de aceite	Semanal
4	Revisión y limpieza del sistema eléctrico	Semanal
5	Revisión de fajas guías y transportadoras	Mensual
6	Verificación de la lona de transmisión de calor	Mensual
7	Revisión de motores eléctricos	Semestral
8	Revisión del sistema de transmisión	Semestral
9	Limpieza de fibras adheridas al sistema de tracción	Semestral

Marmitas		Frecuencia
1	Reporte de anomalías	Diaria
2	Revisión de tuberías	Diaria
3	Limpieza general	Semanal
4	Revisión de empaques	Semanal
5	Revisión de válvulas	Semanal
6	Revisión de trampas de vapor	Mensual

7	Revisión de filtros	Mensual
Autoclaves		
		Frecuencia
1	Reporte de anomalías	Diaria
2	Limpieza de filtro de la cámara	Diaria
3	Verificar funcionamiento de válvula de seguridad	Diaria
4	Limpieza interior y exterior	Diaria
5	Verificar los niveles de agua	Diaria
6	Remoción de grasas y residuos de la línea de escape con el vaciado de una solución de fosfato trisódico (1 cucharada en 1 litro de agua hirviendo) a través del filtro.	Mensual
7	Verificación de fugas	Mensual
8	Verificar el estado de puertas, barras de seguridad, empaque y sistema de seguridad	Mensual
9	Lubricación de bisagras de puertas	Mensual
10	Verificar el estado de válvula de presión	Mensual
Tanque de agua caliente		
		Frecuencia
1	Limpieza exterior	Mensual
2	Inspección del serpentín	Mensual
3	Inspección de accesorios	Mensual
Caldera		
	Conjunto del quemador	Frecuencia
1	Chequeo de funcionamiento	Semanal
2	Revisión de la combustión	Semanal
3	Revisión de boquillas	Mensual
4	Revisión de foto celda	Mensual
5	Revisión de electrodos para ignición	Mensual
6	Revisión de aisladores para electrodos	Mensual
7	Revisión de cables para ignición	Mensual
8	Revisión del piloto de gas	Trimestral
9	Limpieza del cuerpo del quemador	Trimestral
	Control para el nivel de agua	Frecuencia
10	Revisión de niveles para operación	Semanal
11	Revisión de las válvulas de purga	Semanal
12	Revisión del tubo para el nivel	Mensual
13	Revisión de limpieza en el flotador	Semestral

14	Revisión del diafragma para el flotador	Semestral
15	Revisión de la columna del agua	Semestral
	Bomba y tubería de alimentación para el agua	Frecuencia
16	Revisión de prensa estopa	Mensual
17	Revisión de accesorios en la tubería	Mensual
18	Revisión de la temperatura en los rodamientos	Semestral
19	Revisión de la lubricación en los rodamientos	Semestral
20	Revisión de la alineación entre el motor y la bomba	Semestral
21	Revisión del impulsor de la bomba	Semestral
	Cuerpo de la caldera	
22	Revisión de fugas de agua, fugas de vapor y fugas de gases.	Semanal
23	Limpieza para el lado de agua	Semestral
24	Limpieza del lado de fuego	Semestral
25	Revisión de conexiones y tuberías	Semestral
26	Revisión del material refractario	Semestral
27	Cambio de empaques	Semestral
28	Revisión de pernos en las puertas	Semestral
29	Revisión de fugas en los tubos	Semestral
	Sistema para el combustible	Frecuencia
30	Revisión para la línea de alimentación	Semanal
31	Revisión del filtro para la línea de alimentación	Semanal
32	Revisión del filtro para la bomba del quemador	Trimestral
33	Revisión para las fajas de transmisión	Trimestral
34	Revisión de las válvulas solenoides	Trimestral
35	Revisión de la alineación de la bomba de alimentación	Trimestral
36	Revisión de la bomba de recirculación de combustible	Trimestral
37	Revisión de la bomba de combustible del tanque principal	Trimestral
	Sistema para aire	Frecuencia
38	Revisión de la temperatura de los rodamientos	Diario
39	Revisión de vibraciones en el motor para el ventilador o soplador	Diario
40	Limpieza de la malla del ventilador	Mensual
41	Revisión de la lubricación del motor para el ventilador o soplador	Mensual
42	Revisión de las fajas de transmisión	Mensual
43	Revisión de la alineación del ventilador	Mensual
	Tanque para el condensado	

44	Limpieza para la tubería de ventilación	Semestral
45	Revisión de la válvula del flotador	Semestral
46	Revisión del filtro en la descarga hacia la bomba de alimentación	Semestral
47	Limpieza general del tanque Sistema de tratamiento externo para el agua	Semestral
48	Revisión de las válvulas	Mensual
49	Regeneración para la zeolite	Mensual
	Sistema electrico	Frecuencia
50	Revisión de las cápsulas de mercurio	Mensual
51	Revisión de terminales o bornes	Trimestral
52	Limpieza del control programador	Trimestral
53	Revisión de controles para la presión	Trimestral
54	Revisión de los termostatos	Trimestral
55	Limpieza de platinos o contactos	Semestral
	Varios	
56	Revisión de las válvulas de seguridad	Semanal
57	Revisión de los termómetros	Mensual
58	Revisión de los manómetros	Mensual
59	Limpieza de la chimenea	Semestral
60	Revisión y aplicación de pintura en general	Anual
	Sistema de distribución y accesorios	Frecuencia
1	Inspección de tubería de vapor y retorno de condensado	Diario
2	Trampas de vapor	Mensual
3	Filtros de vapor	Mensual
4	Válvulas	Mensual
5	Aparatos de Control	Mensual

#### **4.3. Fatiga de los equipos**

Algunos equipos del hospital llevan un largo período trabajando. Tienen un período de vida útil que debe ser evaluado ya que se desconoce cuándo podrían colapsar.

Se deben evaluar los equipos obsoletos o que no cumplen con el requerimiento del sistema, para contar con un equipo de calidad.

En el área de lavandería, existe una trampa de vapor y un serpentín de secadora, que deben ser cambiados, ya que pueden colapsar en cualquier momento, debido al deterioro. Dicho estado es producto de los años de operación y constantes reparaciones.

#### **4.3.1. Tiempo de vida útil de los equipos**

La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente, se calcula en horas de duración.

Toda empresa para operar y desarrollar su objeto social requiere de activos fijos, los cuales, como consecuencia de su utilización, se desgastan hasta el punto de quedar inservibles.

En términos generales, la ley ha considerado que la maquinaria y equipo tiene una duración de 10 años. Estos valores, claro está, no son siempre reales, puesto que habrá maquinaria y equipo que dure más de 10 años.

Es importante considerar este tiempo definido por la ley, pero más importante es tener presente que un equipo, a pesar de un buen mantenimiento, llegará a un punto en el cual será obsoleto o funcionará con limitaciones, que pueden comprometer la operación y el buen funcionamiento de los sistemas.

#### **4.4. Ahorro de agua potable**

El agua potable ha sido sometida a un tratamiento específico para que se pueda consumir sin ningún peligro. Este tratamiento se lleva a cabo en una planta potabilizadora encargada de eliminar los contaminantes del agua y suministrarla a la población por medio de una red de abastecimiento.

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales en los que se apoya el desarrollo humano. Es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Está formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

El agua es un recurso renovable, sin embargo, hay lugares donde está contaminada a tal grado que ya no puede ser utilizada para actividades humanas. La provisión mundial de agua dulce está disminuyendo, debido a la contaminación y deterioro del ambiente.

Se estima que solamente el 3% del agua en la tierra es dulce; de ese porcentaje, únicamente el 0,3% es agua disponible en ríos y lagos, el resto está en zonas no disponibles. El agua es vida y es progreso, por ello, es importante tomar medidas para limitar su consumo.

Dentro del hospital se pueden tomar medidas para evitar pérdidas de agua potable. Actualmente, parte del condensado que regresa a la caldera es desechado al drenaje.

El condensado no es más que agua potable tratada químicamente para que sea de uso industrial. La caldera del hospital demanda agua tratada para generar vapor, del tanque de retorno de condensado.

El tanque de condensado no es capaz de alimentar la caldera, la cual tiene una demanda mayor. Para suplir dicha necesidad se utiliza agua potable (no tratada para usos industriales).

Este consumo de agua se podría limitar si, en lugar de eliminar parte del condensado en el drenaje, se captara en una cisterna capaz de cubrir la demanda de la caldera.

Al momento de crear la cisterna y lograr que esta se alimente del condensado que no capta el tanque de retorno, se puede crear un ciclo capaz de suplir la demanda de la caldera con agua tratada por un período más largo que si este no existiera. Se reduce el consumo de agua potable que, a su vez, se traduce en el cuidado de la tubería, disminución de costos y apoyo al ambiente.

Se pierden, en el drenaje, alrededor de 330 galones diarios de condensado porque el tanque de retorno es incapaz de captarla. Además, deben estimarse las pérdidas producidas por fugas de vapor.

El hospital utiliza un aproximado de 550 galones diarios de agua potable para alimentar a la caldera. Para un período de un año, el gasto de agua potable para generar vapor sería 2 00 750, 00 galones.

Asumiendo que la cisterna cubra el 60% de la demanda de agua potable, se reduciría su consumo a 80 300,00 galones de agua potable por año. Esto contribuiría al cuidado del pequeño porcentaje de agua dulce en el mundo.

#### **4.5. Protección de la capa de ozono**

“El ozono es un gas que forma una capa en la parte superior de la atmósfera y que protege la superficie terrestre de la radiación ultravioleta dañina del Sol. La ausencia de esta capa protectora puede causar cáncer en la piel y daños imprevisibles al ecosistema mundial”.<sup>5</sup>

La optimización de vapor minimizará la cantidad de consumo de diésel, que es un recurso no renovable y produce dióxido de carbono.

Al disminuir el consumo de diésel se protege el ambiente; en especial la capa de ozono, que es la más afectada por la emisión de dióxido de carbono.

La emisión de este contaminante también afecta la flora arbórea, la fauna y los lagos. Además, provoca el deterioro de edificios, monumentos, estatuas y otras estructuras.

Anualmente, el hospital consume más diésel del necesario, producto de fugas de vapor y falta o deterioro de aislante térmico.

Estos galones de diésel, son producto de fallas, que parecen leves en el sistema y que no se han tomado en cuenta, pero su efecto es nocivo para la capa de ozono y para el aire que se respira.

---

<sup>5</sup> Naciones unidas centro de información. Labor ONU [en línea]. México Cuba Y Republica Dominicana. [http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu\\_n5.htm](http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm). [Consulta: febrero de 2016].

Esta institución consume, en la actualidad, por concepto de combustible la cantidad de 240, 00 galones por día, para un total de 87 600,00 galones al año. El hospital puede reducir este consumo anual en un total de 3 649,5 galones si considera reparar fugas y proteger térmicamente la tubería que lo necesite.

Estas acciones apoyarán los esfuerzos mundiales por reducir los daños a la capa de ozono, cuya función es proteger a las generaciones presentes y futuras de la radiación ultravioleta.

#### **4.6. Implementación de sistemas de reciclaje**

El hospital General San Juan de Dios puede coadyuvar en el mejoramiento del medio ambiente por medio de un sistema de recolección de productos para reciclaje y la implementación de procedimientos que logren el mayor aprovechamiento de los recursos generados dentro de esta institución.

##### **4.6.1. Reciclaje de papel y cartón**

Actualmente, el 90% de la pasta de papel se fabrica con madera. La producción de papel representa, aproximadamente, un 35% de árboles talados, suponiendo el 1,2% del volumen de producción mundial total.

Reciclar una tonelada de papel de periódico ahorra, aproximadamente, una tonelada de madera, mientras que reciclando una tonelada de papel impreso o de copias se ahorra algo más de dos toneladas. Esto se debe a que la fabricación de pasta requiere el doble de madera para retirar la lignina y producir fibras de mayor calidad que con los procesos mecánicos de fabricación.

La relación entre las toneladas de papel reciclado y el número de árboles salvados no es banal, dado que el tamaño de los árboles varía enormemente y es el factor principal en la cantidad de papel que se puede obtener de un determinado número de ellos.

A modo de resumen, algunas razones para reciclar papel son el ahorro de:

- 17 árboles adultos.
- 2,5 metros cúbicos de desperdicios.
- 27.000 litros de agua.
- 1440 litros de aceite.
- 4100 kilovatios-hora (14.700 mega julios) de energía.
- 27 kilogramos de contaminantes,

por cada tonelada de papel reciclado, en comparación con la producción de esa misma tonelada de papel virgen.

La Oficina Internacional de Reciclaje (Bureau of International Recycling, siglas BIR en inglés), sostiene que, cuando el papel es reciclado se reduce un 64% de energía en la producción que cuando se fabrica con pasta no reciclada,

Reciclar para fabricar papel podría, en realidad, consumir más combustible que si se fabrica directamente nueva pasta de papel; sin embargo, estas plantas de reciclaje reciben toda su energía de la quema de desechos de madera (corteza de árboles, raíces), y subproductos de la lignina.

Las fábricas de papel que producen nueva pasta por procedimientos mecánicos, utilizan elevadas cantidades de energía. Una estimación aproximada de la energía eléctrica requerida es de 10 giga julios por tonelada de pasta que, normalmente, proviene de plantas hidroeléctricas.

Las plantas de reciclaje adquieren la mayor parte de su energía de compañías energéticas y dado que suelen estar en áreas urbanas, es como si la electricidad estuviese generada por la quema de combustibles fósiles.

La incineración del papel ya usado es una opción que normalmente se prefiere a la del vertedero, dado que de esta forma se genera energía útil. Los materiales orgánicos, incluido el papel, se descomponen en los vertederos, aunque en algunas ocasiones lo hacen lentamente y liberando metano, un potente gas de efecto invernadero.

Las extensiones adecuadas para vertederos escasean y deben ser utilizadas con cuidado, aunque afortunadamente, es en estas áreas donde la recolección de papel usado es también más eficiente dado que crea más trabajos y ahorra espacios en otros vertederos.

La Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA) descubrió que reciclar causa un 35% menos de contaminación del agua y un 74% menos de contaminación aérea que cuando se fabrica papel virgen.

Las fábricas de papel pueden ser fuentes de ambas contaminaciones, especialmente, si están fabricando pasta de papel blanqueada, aunque las fábricas modernas producen una contaminación considerablemente menos que las de hace algunas décadas.

Reciclar papel disminuye la demanda de papel virgen y por tanto reduce la cantidad total de contaminación que se asocia con la manufactura del papel. El papel reciclado puede ser blanqueado con los mismos productos químicos que se usan para blanquear el papel virgen. Entre los más frecuentes están el peróxido de hidrógeno y el hidrosulfito de sodio. El papel reciclado, o el papel derivado de él, se conocen como LPC, libre de procesos clorados, en caso de que no se hayan utilizado productos clorados durante el proceso del reciclado.

Cada área del hospital General San Juan de Dios con el apoyo del departamento de mantenimiento puede aportar la mayor cantidad de papel y cartón que ya no sea útil. Para ellos deberían almacenarlo en un lugar adecuado para venderlo a las empresas que se dedican a reciclar. Este proceso permite, retirarlo con facilidad para evitar que se confunda con los desechos que van a los vertederos. Esta es una forma de mejorar el medio ambiente de nuestro país.

#### **4.6.2. Reciclaje de plástico**

Los plásticos suponen una grave amenaza para el medio ambiente por dos motivos principales: su utilización masiva en todo tipo de productos y su lenta degradación. Se estima que tarda unos 180 años en descomponerse, aunque este periodo varía en función del tipo de plástico. El PVC (policloruro de vinilo) y el PET (Tereftalato de polietileno) son los plásticos más comunes que se reciclan. Sin embargo, el primero es mucho más contaminante para el medio ambiente.

El proceso de reciclaje del plástico pasa por varias fases. En primer lugar, se recolecta en industrias o en los contenedores de color amarillo, se limpian con productos químicos, se seleccionan por tipo de plástico y, posteriormente, se funden para obtener nueva materia prima, que puede moldearse.

Con el reciclaje del plástico conseguimos reducir sensiblemente la cantidad de residuos provocados por botellas, bolsas de plástico o envases de los vertederos. Algunos plásticos son no recuperables, por ejemplo, la bakelita y el poliestireno cristal.

El PET, es un tipo de plástico utilizado principalmente en los envases de bebidas, en especial botellas de agua y en textiles. El reciclaje de PET, tiene una gran importancia dentro de los plásticos, por su presencia masiva.

Los plásticos se clasifican de acuerdo con su tipo de resina. Aunque se han utilizado varios métodos a lo largo del tiempo para distinguir las resinas, actualmente, se utilizan los infrarrojos. Después de separarlos se trituran y se eliminan las impurezas, como las etiquetas de papel. Luego, se funde y se divide en esferas pequeñas que, posteriormente, se utilizan para la fabricación de otros productos.

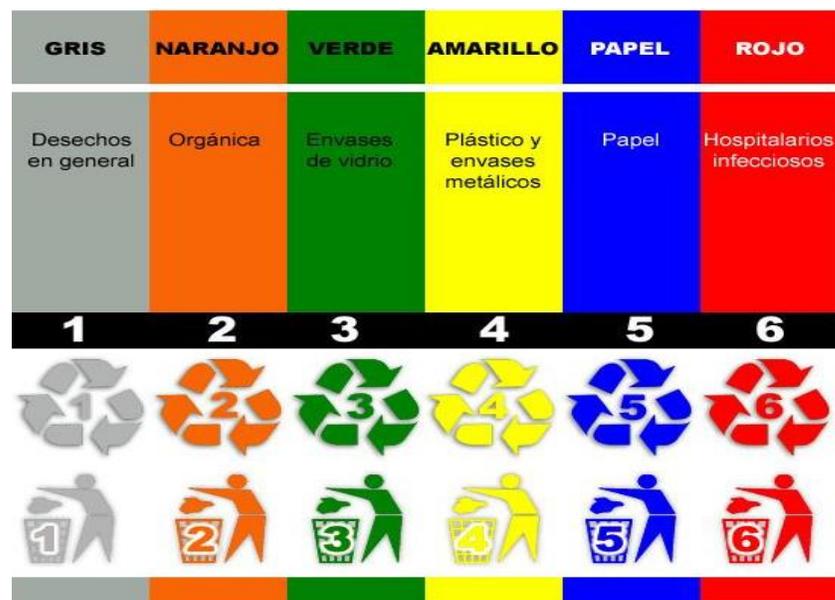
Cuando se mezclan diferentes tipos de plástico, tienden a separarse en capas por fases, como el aceite y el agua. Por eso, los tipos de plásticos tienen que ser idénticos para mezclarse eficientemente. Las interfaces entre fases causan puntos estructurales débiles en el material que se obtiene, por lo que las mezclas de distintos polímeros son de uso limitado. Otro problema al reciclar el plástico es el uso de tintes, rellenos y demás aditivos que están en los plásticos, son, generalmente, muy difíciles de eliminar sin dañar al plástico.

En la actualidad se está generando conciencia en torno al uso de las bolsas de plástico tradicionales, las cuales se están sustituyendo por otras reciclables o bien por alternativas duraderas como las bolsas de rafia.

Estas bolsas biodegradables están creadas con polímeros biodegradables, entre los que encontramos polímeros extraídos de la biomasa, los polímeros producidos por síntesis química con monómeros biológicos de fuentes renovables, y los polímeros de microorganismos, que se pueden desechar como materia orgánica, y se descomponen con gran facilidad.

En hospital General San Juan de Dios se sugiere colocar, en diversas áreas, depósitos de basura identificados de tal manera que cada paciente o trabajador, pueda separar los desechos reciclables de los no reciclables, como lo muestra la siguiente imagen:

Figura 5. **Clasificación de depósitos de basura**



Fuente: *Colores para el reciclar* [en línea]. <http://uladehrecicla.blogspot.com/> [Consulta: septiembre 2015]

El objeto de esta práctica es ayudar al medio ambiente poniendo en práctica las 3R. Reducir, Reutilizar y Reciclar. Si reducimos el problema, disminuimos el impacto en el medio ambiente. Para ello, se deben separar los productos reciclables de los que no lo son. Estos productos, como las botellas desechables se pueden convertir en ladrillos ecológicos, si en su interior se les ponen todas las bolsas de plástico que ya no se usan.

Las cajitas o frascos de PVC, metal o plástico se pueden pintar o decorar y utilizarse nuevamente ahora para guardar distintos artículos. El papel usado se puede transformar en pulpa y crear nuevas hojas para escribir.

Por último, se puede reciclar. Es r es la más popular porque el sistema de consumo actual ha preferido usar envases de materiales reciclables; por ejemplo, el vidrio y la mayoría de plásticos se pueden reciclar calentándolos hasta que se funden y dándoles una nueva forma. El vidrio es completamente reciclable ya que de una botella se podría obtener otra botella. El uso adecuado de estos depósitos se considera una parte importante para mantener un ambiente agradable y sano, dentro y fuera de las instalaciones del hospital General San Juan de Dios.

## 5. MEJORA CONTINUA

La mejora continua, intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio, donde la perfección nunca se logra, pero siempre se busca. Permite que países o empresas en vías de desarrollo cierren la brecha tecnológica o de calidad que tienen otros países o empresas desarrolladas.

### 5.1. Resultados

Toda empresa que desea la mejora continua de sus procesos debe tener un método que genere, progresivamente, buenos resultados; esto se puede lograr por medio del círculo de mejora continua.

El Ciclo PHVA es el método más usado para implantar un sistema de mejora continua. Funciona en estrecha relación con la norma ISO 9001, Requisitos de los Sistemas de gestión de la calidad, donde se menciona como un principio fundamental para la mejora continua de la calidad.

El nombre del Ciclo PDCA (o Ciclo PHVA) corresponde a las siglas Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, en inglés "Plan, Do, Check, Act". También es conocido como Ciclo de mejora continua o Círculo de Deming, porque Edwards Deming es su autor. Esta metodología describe los cuatro pasos esenciales que se deben llevar a cabo de forma sistemática para lograr la mejora continua, entendiendo como tal al mejoramiento continuado de la calidad.

El círculo de Deming lo componen cuatro etapas cíclicas, de forma que, una vez acabada la etapa final, se debe volver a la primera y repetir el ciclo de nuevo. De esta forma los resultados son reevaluados periódicamente para incorporar nuevas mejoras. Esta metodología está diseñada, principalmente, para aplicarla en empresas y organizaciones.

Los resultados de la implementación de este ciclo permitirán al departamento de mantenimiento del Hospital General San Juan de Dios una mejora integral de los servicios. Mejorará la calidad continuamente, reducirá costos y optimizará recursos.

#### **5.1.1. Interpretación de los resultados**

Cuando se aplica el círculo de mejora continua, los resultados deben interpretarse, esta es la etapa de la verificación. Cuando se efectúa un mantenimiento, es necesario analizar si los resultados cumplen con los objetivos planteados;

En la interpretación de los resultados se buscan respuestas a las preguntas planteadas. Por ejemplo, al cambiar el tipo de aislante térmico, se plantean preguntas, como cuánto tiempo dura, cuánto condensado se generó si se compara con el aislante anterior, cuál es el tiempo de instalación, y otras, para determinar si la mejora es consistente y continua para la red de distribución de vapor.

Existen preguntas básicas que permiten interpretar los resultados de una instalación mecánica o mantenimiento; por ejemplo, cómo funciona el equipo después del mantenimiento, cuánto tardó la instalación y cuáles fueron los atrasos identificados, entre otras. El objetivo es reducir costos y mejorar rendimientos de los equipos instalados dentro del Hospital General San Juan de Dios.

Los datos, sin embargo, no “hablan por sí mismos”. Revelan lo que el analista puede detectar. De manera que quien analiza los datos es novato porque trata de obtener respuestas claras a las preguntas planteadas. En este momento, se encuentra solo con el conjunto de datos y ninguna idea de cómo proceder, o simplemente desconoce la importancia de lo que está analizando.

Igual que otros aspectos de un estudio, el análisis e interpretación de los datos debe relacionarse con los objetivos y el problema de investigación. El analista, luego, dirige su atención a las preguntas específicas planteadas en los objetivos o hipótesis de estudio planteados, determina si los resultados cumplen con lo requerido.

Si los resultados obtenidos en un proyecto de mejora continua dentro de la red de distribución de vapor del Hospital General San Juan de Dios no cumplen con los objetivos, quien analiza los resultados, debe determinar si el proyecto se descarta o si existe algún procedimiento o equipo que coadyuve en el cumplimiento de su cometido.

### **5.1.2. Alcance**

El alcance se refiere a la trascendencia que tienen los resultados en un estudio determinado. En la red de distribución de vapor del hospital General San Juan de Dios se observó que al colocar el aislante térmico en la tubería que distribuye vapor a los equipos, se ahorra energía, se contribuye con la conservación del medio ambiente y se reducen los gastos en combustible.

En un proyecto, cuando se responden de forma clara las preguntas o hipótesis planteadas, se puede generar una mejora continua ya que permite visualizar el panorama completo de aquello que se quiere mejorar. Por ello, es muy importante que la persona encargada de analizar los datos esté comprometida con la operación y tenga la experiencia necesaria para interpretarlos.

Si los resultados de cada mantenimiento se analizan eficientemente, se puede trascender. Así se logrará que los equipos funcionen durante más tiempo, se prevea el tiempo cuando se necesiten cambiar, se actúe con prontitud y eficacia, se reduzca el tiempo perdido por equipos en mal estado y se reduzcan los costos ocultos.

### **5.1.3. Mejora**

Entendemos por mejora al cambio de una cosa o sistema que está en una condición precaria a otra mejor. La mejora continua es un proceso cíclico, en el que no se permite el estancamiento, sino la busca constante del incremento de la calidad de los procesos o servicios.

En el hospital General San Juan de Dios se están realizando cambios importantes en el sistema de la red de distribución de vapor. Entre ellos está el cambio en un segmento de la red, que va hacia el departamento de nutrición y dietética.

En esta área, la calidad de vapor era muy pobre. De seis marmitas que estaban en funcionamiento, solo dos recibían la calidad de vapor necesaria para funcionar. Las otras cuatro no tenían la alimentación necesaria de vapor. Ahora, con el nuevo segmento de red, el flujo de vapor es mucho mejor y alimenta las seis marmitas.

También se mantiene un orden estricto en el funcionamiento en las calderas principales, alternando el funcionamiento de cada una de ellas en un periodo no mayor a los seis meses. Con esto se ha logrado que la red de distribución de vapor no se detenga durante todo el año y las calderas se mantengan en buen estado mediante la aplicación de un mantenimiento efectivo a cada una.

Aun así, aún hay cosas importantes que necesitan mejorar, como el aislante térmico de toda la tubería de la red de distribución de vapor, cambio o reparación de la bomba de retorno de condensado, cambio de las rejillas deterioradas los drenajes, eliminación de las fugas de vapor, la iluminación de las distintas áreas, reparación de autoclaves y cambio de las trampas de vapor deterioradas de central de equipos y esterilización.

Si se utiliza el círculo de mejora continua u otro método, que el departamento del Hospital General San Juan de Dios quiera utilizar, podrán alcanzar otros puntos de mejora podrán por medio de un esfuerzo consistente del departamento de Mantenimiento, con el apoyo de la Dirección general.

## **5.2. Estadísticas**

El desarrollo de un sistema de control de calidad para el mantenimiento es esencial para asegurar alta calidad de la reparación, afinar la estandarización, maximizar la disponibilidad, extender la vida económica del activo y asegurar una alta eficiencia y tasa de producción del equipo.

El análisis de estos datos aportará una información valiosa sobre el funcionamiento y eficacia de los procesos. Esto permitirá estudiar y corregir cualquier desviación detectada. Para analizar estos datos se debe recurrir a técnicas estadísticas que permitan visualizar la variabilidad y considerarla al tomar decisiones.

### **5.2.1. Mantenimiento**

El mantenimiento responde a la falla de los equipos o su falta de condición operativa. Permite estar preparados para responder eficientemente a la falla o inclusive adelantarse a la falla. Esto es lo que cualquier departamento de mantenimiento desea en su gestión.

Aunque muchas veces la falla viene por causas ocultas a la percepción humana, hay métodos íntimamente ligados a la estadística que permiten determinar cuando los equipos pueden fallar.

Se sugiere utilizar como indicadores estadísticos los siguientes: tiempo promedio operativo TPO, tiempo promedio entre fallas TPEF, tiempo promedio fuera de servicio TPFS, tiempo promedio para reparar TPPR y tiempo promedio fuera de control TPFC.

La gestión de mantenimiento se puede verificar cumpliendo con los siguientes objetivos: Confiabilidad (R(t)), Mantenibilidad (M (t)), Disponibilidad (A); los cuales nos ayudan a garantizar valores aceptables de riesgo, reduciendo la probabilidad de que haya fallas (confiabilidad), recuperar la operatividad del sistema, una vez que se ha producido la falla (mantenibilidad), incrementar la continuidad operacional (disponibilidad) de los activos y minimizar la consecuencia de las fallas.

#### **5.2.1.1. Mensual**

Para la mejora continua, diariamente se deben tomar datos del comportamiento de los equipos. Se debe llevar un registro de cuándo y cómo sucedió la falla. Al finalizar el mes, se sugiere utilizar los indicadores estadísticos, que permitan conocer todos los tiempos relacionados con la operación y el mantenimiento. De esta manera, se puede definir, de forma clara, el comportamiento de los equipos que son utilizados por la red de distribución de vapor.

El primer indicador es el Tiempo promedio operativo. Este se calcula mediante la sumatoria del tiempo de operación antes de la falla, dividido el número de fallas ocurridas en este periodo, por ejemplo, se quiere determinar el tiempo promedio de operación TPO de una marmita que, durante un mes, en varias ocasiones, ha presentado problemas con la presión de operación. Los tiempos de operación entre fallas (días en operación antes de la falla) son los siguientes: 2,3,5,4,5,5,4. Se procede de la siguiente manera:

$$TPO = \sum_{i=1}^n T0i / \# \text{ de fallas} = 30/7 = 4.28$$

Este dato indica que el equipo falla, en promedio, cada 4.28 días en el mes. Esto ayuda para tener un parámetro de funcionamiento, generar estrategias y estar preparados para responder al momento de la falla si es que se desconocen con la exactitud de las fallas.

Otro indicador importante es el tiempo promedio fuera de servicio TPFS. Este indica el tiempo en que un equipo se mantiene sin operar debido a una falla. Se calcula mediante la siguiente fórmula  $TPFS = \sum_{i=1}^n TFS_i / \text{número de fallas}$ .

Este indicador permite informar al departamento en cuánto tiempo estará listo su equipo para operar. De esta manera dispondrán de un plan de contingencia o generarán estrategias para que la operación continúe mientras se repara el equipo.

Es importante mantener registro de estos indicadores para responder de manera adecuada ante una falla. También existen otros indicadores que unidos a estos propician una mejora continua mensual cuando se analizan y se generan cursos de acción para mejorar, estos indicadores son los siguientes:

- Tiempo promedio entre fallas  $TPEF = \sum_{i=1}^n TEF_i / \text{número de fallas}$ . Define el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de una falla y otra.
- Tiempo promedio para reparación  $TPPR = \sum_{i=1}^n TPR_i / \text{número de fallas}$ . Define el tiempo promedio en que se realiza las operaciones para realizar la reparación de un equipo.
- Tiempo promedio fuera de control  $TPPR = \sum_{i=1}^n TPR_i / \text{número de fallas}$ . Este sirve para los equipos cuyo tipo de falla es un descontrol en su operación.

Se sugiere que se lleve este tipo de controles, de tal manera que la gestión en el mantenimiento en la red de distribución de vapor, genere una mejora continua a través del análisis de estos datos que brindan información valiosa para adelantarse a la falla en los equipos.

#### 5.2.1.2. Semestral

Semestralmente, se debe prestar mayor atención a los equipos que mediante un análisis de los indicadores, han presentado resultados menores a lo requerido o han tenido el mayor número de fallas, durante el periodo de evaluación. También debe realizarse a aquellos equipos que, por su importancia, no deben detener sus operaciones.

A estos equipos se recomienda, por medio de una distribución Exponencial, determinar lo siguiente: la confiabilidad ( $R(t)$ ), la probabilidad de falla ( $F(t)$ ), el tiempo medio hasta fallar (MTTF) y las fallas con relación en el tiempo ( $h(t)$ ). La fórmula para calcular estos indicadores son los siguientes:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Donde:

$F(t)$  = probabilidad de falla

$$F(t) = 1 - [e^{(-\lambda) t}]$$

Donde:

$e$  = función exponencial

$\lambda$  = tasa de fallas =  $1/\text{MTTF}$

MTTF = tiempo medio hasta fallar =  $\sum_{i=1}^n \text{TTFi} / \# \text{ de fallas en el tiempo}$

$$h(t) = \# \text{ de fallas en el tiempo} = f(t) / R(t) = \lambda$$

Donde:

$$f(t) = \lambda e^{(-\lambda) t}$$

Cada uno de estos indicadores sirve para realizar el mantenimiento preventivo de los equipos que están dentro de la red, ya que nos brinda el tiempo estimado en que los equipos pueden fallar. Esta información es útil para programar la detención de la maquinaria y equipo, de la red de distribución de vapor del hospital General San Juan de Dios. Así mismo, se puede informar con anticipación al personal que los utiliza, para que realicen las gestiones necesarias y eviten contratiempos.

#### **5.2.1.3. Anual**

Se recomienda realizar un análisis de mantenibilidad de los equipos en general y en especial aquellos que han funcionado por mucho tiempo. La mantenibilidad estudia los factores y los recursos relacionados con la actividad para recuperar o mantener el buen funcionamiento de los equipos.

Este índice es importante para reducir costos de mantenimiento en un ciclo determinado. Se sugiere que para la red de distribución de vapor del hospital General San Juan de Dios se realice este índice cada año. Así mismo muestra la capacidad que tienen los equipos de ser reparados en el tiempo, de tal manera que se puedan generar sistemas para recuperar los equipos, fácilmente.

La mantenibilidad es la probabilidad que tienen los equipos para ser reparados en un tiempo (t). Mediante esta información se pueden buscar los factores que elevan el tiempo de reparación para corregirlos en el siguiente periodo. Entre estos factores están la imposibilidad de contar con repuestos a tiempo, carecer de los repuestos adecuados, de la herramienta apropiada o realizar únicamente mantenimientos correctivos. La fórmula para calcular la mantenibilidad es la siguiente:

$$M(t)=\text{Mantenibilidad}= 1- [e^{-(t \times \lambda)}]$$

Donde;

t= tiempo de evaluación

e= función exponencial

$\lambda$ = tasa de fallas = 1/MTTR

MTTR= tiempo promedio de reparación =  $\sum_{i=1}^n \text{TTR}_i / \#$  de reparaciones en el tiempo

La mantenibilidad es útil cuando deseamos conocer el tiempo total de reparación (TTR) de un equipo, cuando ya conocemos la probabilidad de reparación (M(t)). La forma de calcular este indicador es la siguiente:

$$\text{TTR} (M(t)) = (1/\lambda) [-\text{Ln} (1- M(t))]$$

Donde:

$\lambda$ = tasa de fallas

MTTR= tiempo promedio de reparación

Ln= Función de logaritmo natural; M(t)= Mantenibilidad

Es importante para un sistema de mejora continua que se analice la mantenibilidad de los equipos o la probabilidad de que sean reparados ya que el costo del mantenimiento puede elevarse si no se consideran estos datos en función del tiempo. Se sugiere la utilización de los índices propuestos en este trabajo de graduación, para buscar la mejora continua en el tiempo de recuperación de los equipos de la red de distribución de vapor del Hospital General San Juan de Dios

### **5.3. Auditorías**

La auditoría es útil en la mejora continua. Una auditoría es un examen crítico y sistemático que realiza una persona o grupo de personas independientes del sistema auditado, que puede ser una persona, organización, sistema, proceso, proyecto o producto.

Al auditar se verifica la razonabilidad de la información contenida en los reportes entregados por los encargados de realizar el mantenimiento, o verificar si los mantenimientos reportados cumplen con lo requerido.

El objetivo principal de la auditoria es la calidad en el mantenimiento, la cual se entiende como la máxima disponibilidad de los equipos con el mínimo coste. Para ello se debe verificar cómo se realiza la gestión de los siguientes puntos:

- La cantidad disponible de mano de obra que sea suficiente y organizada adecuadamente.
- La mano de obra sea suficientemente cualificada para realizar las tareas que sea necesario llevar a cabo.
- El rendimiento de dicha mano de obra sea lo más alto posible.

- Disponibilidad de útiles y herramientas más adecuadas para los equipos que hay que atender.
- Que los materiales que se empleen en mantenimiento cumplan los requisitos necesarios.
- Que el dinero gastado en materiales y repuestos sea el más bajo posible.
- Disponibilidad de los métodos de trabajo más adecuados para realizar las tareas de mantenimiento.
- Que las reparaciones que se efectúen sean fiables, es decir, no vuelvan a producirse en un largo periodo de tiempo.
- Las paradas que se produzcan en los equipos como consecuencia de averías o intervenciones programadas no afecten a los clientes internos o externos en su programación.
- Que se disponga de información útil y fiable sobre la evolución del mantenimiento que permita a los responsables poder tomar decisiones que permitan la mejora continua.

El objetivo de la auditoría no es juzgar al responsable de mantenimiento, no es cuestionar su forma de trabajo, no es una actividad contra el Jefe de Mantenimiento, es saber en qué situación se encuentra el departamento de mantenimiento en un momento determinado, identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados.

Cuando se realice una auditoria se sugiere dar los siguientes posibles valores de los elementos analizados; numerados de la siguiente manera: “3” si la respuesta a la cuestión planteada es muy favorable, “2” si la situación es mejorable, aunque aceptable; “1” si la situación es desfavorable y se hace necesario un cambio; y “0” si la respuesta es tan desalentadora y se considera la situación como pérdida.

Todos los puntos que alcanzan como resultado un “0” o un “1” deben incluirse en un plan de acción y, transcurrido cierto tiempo, deben realizarse una nueva auditoría para comprobar los puntos cuyo resultado fue desfavorable.

El punto más importante de una auditoría de mantenimiento es identificar los problemas que se detectan en la gestión del mantenimiento de una empresa, y cómo se propone solucionarlos.

### **5.3.1. Internas**

Los trabajos realizados por una auditoría interna y las técnicas utilizadas centran su atención en temas de control interno y en la evaluación de riesgos para generar informes que contienen información sobre la gestión de mantenimiento, con sugerencias para mejorar las inconformidades.

La auditoría interna en su designación puede ser realizada por los mandos altos dentro del departamento de mantenimiento. Deben cumplir con un calendario estipulado por el jefe o director del mantenimiento. Se sugiere utilizar los valores propuestos con anterioridad para los elementos analizados.

Debe cumplir el objetivo de ejercer una función de control o asesoramiento en los casos que sea necesario para determinar los avances y comportamiento del departamento. Su función principal es evaluar los sistemas de control interno y la detección de riesgos o averías en los equipos.

La persona que realiza la auditoria debe tener conocimientos del funcionamiento adecuado de los equipos, así como de la forma adecuada de aplicar el mantenimiento.

Tiene la debilidad de que, al ser realizado por un empleado del mismo departamento, puede tener consideraciones que pongan en riesgo la objetividad de la auditoria. Podría pasar por alto algunas acciones importantes por negligencia.

La auditoría debe realizarse de forma periódica, según cronograma interno; los informes realizados en cada auditoria deben ser objetivos y entregados con prontitud, para que el departamento de mantenimiento del Hospital General San Juan de Dios tome un curso de acción para corregir, lo antes posible los puntos de mejora.

### **5.3.2. Externas**

La auditoría debe realizarse cada 6 meses y cada año. Los informes deben ser detallados, para que los resultados de la auditoria muestren los avances alcanzados y los puntos de mejora. Se sugiere utilizar un único sistema de valores para los elementos analizados, para que la auditoria interna y la externa manejen el mismo lenguaje.

El informe debe ser enviado al jefe del departamento y a la dirección del Hospital General San Juan de Dios, para que, de manera objetiva, se vea el cumplimiento o incumplimiento de cada uno de los puntos principales de la gestión del mantenimiento. Se deben indicar las áreas de mejora y los puntos prioritarios para que la gestión sea un éxito.

El auditor debe ser independiente del departamento para evitar el fraude. De esta manera, no tendrá reparos para indicar si procedimientos o tareas asignadas se incumplen. El personal interno o proveniente de empresas externas puede realizar esta labor.

La auditoría externa también debe informar cómo se ha invertido el dinero dentro del departamento, asegurándose de que los recursos utilizados sean los necesarios para la actividad de mantenimiento realizada. De esta manera, se podrá determinar si el departamento está utilizando más dinero del necesario o si su presupuesto requiere ampliación para cumplir con las demandas del Hospital General San Juan de Dios.

EL objetivo principal de esta auditoria es verificar si se está cumpliendo con satisfacer las necesidades de cada uno de los departamentos que utilizan la red de distribución de vapor, ya que ellos necesitan equipos que utilizan vapor y merecen que estén en buen estado. Requieren de ellos para cumplir con las demandas de los pacientes que diariamente llegan al Hospital General San Juan de Dios. Esta auditoria ayuda a mantener una gestión de mantenimiento sana que promueve la mejora continua.

#### **5.4. Beneficio/costo**

Antes de realizar una mejora siempre es importante tomar en cuenta el factor económico. Debe realizarse un análisis que permita determinar cuál será el beneficio que obtendrá el Hospital General San Juan de Dios al invertir en un proyecto de mejora, dentro de la red de distribución de vapor.

Se recomienda utilizar el análisis de Beneficio/costo. Es muy útil para decidir si un proyecto se realizará o no. El proceso involucra, ya sea explícita o implícitamente, un peso total de los gastos previstos en contra del total de los beneficios previstos de una o más acciones con el fin de seleccionar la mejor opción o la más rentable.

En la relación beneficio/costo, se establecen por separado los valores actuales de los ingresos y los egresos, luego se divide la suma de los valores actuales de los costos e ingresos.

Situaciones que se pueden presentar en la relación beneficio/costo:

- *Relación B/C > 0.* Índice que indica que, por cada quetzal invertido, se obtiene más de un quetzal de beneficio. En consecuencia, si el índice es positivo, el proyecto puede aceptarse.
- *Relación B/C = 0.* Índice que indica que, por cada quetzal invertido, se obtiene un quetzal de beneficio. El proyecto puede aceptarse, realizando las mejoras necesarias para alcanzar un B/C > 0.
- *Relación B/C < 0.* Índice que indica que, por cada quetzal invertido, se obtiene menos de un quetzal de beneficio, entonces, si el índice es negativo, el proyecto debe rechazarse, se considera como pérdida.

Debido a la importancia del análisis deben tomarse en cuenta todos los costos y todos los beneficios, sin menospreciar alguno por carecer de volumen ya que esto puede causar errores en el cálculo. Puede calcularse por medio de utilizar la siguiente formula:

$$B/C = \sum_{i=1}^n V_i / \sum_{i=1}^n C_i$$

Dónde:

$B/C$  = Relación Beneficio / Costo

$V_i$  = Valor de la producción (beneficio bruto)

$C_i$  = Egresos ( $i = 0, 2, 3, 4 \dots n$ )

## CONCLUSIONES

1. La presión adecuada para los equipos de lavandería debe ser de 100 psi; para las marmitas de nutrición y dietética 35 psi; para las autoclaves la presión adecuada es 50 psi; el vapor debe ser seco y carente de condensado en los equipos para que exista una buena transferencia de energía. Estas son las presiones adecuadas para que el equipo no sufra daños por sobrepresión o ineficiencia por baja presión.
2. Las pérdidas de energía en el sistema son producto de fugas en el cuarto de máquinas, ausencia y deterioro del aislante térmico en lavandería, cuarto de máquinas, el túnel y nutrición y dietética.
3. Las pérdidas de vapor en las tuberías son producto de una transferencia de calor hacia las paredes de los tubos, por falta de aislante térmico. Esto genera condensado, que luego es retirado de la red por las trampas de vapor.
4. Las autoclaves están fallando por retorno de condensado hacia el equipo, ya que se acumula en la tubería por una bomba que no funciona; con esto se produce pérdidas de energía en forma de calor, prolongando el tiempo de operación del equipo.
5. La red secundaria de distribución de vapor en el área de Nutrición y Dietética debería ser de tres pulgadas para que cada marmita reciba la cantidad de vapor adecuada para operar; actualmente, esta red tiene una pulgada de diámetro y adicionalmente le falta aislante térmico.

6. El material apropiado para la tubería de distribución de vapor, según La ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials), son los fabricados con hierro negro (acero al carbono, 0,55%) de acuerdo con las especificaciones ASTM A106 (Cédula 80) y A53 (Cédula 40)).
7. Al realizar las correcciones propuestas en este trabajo de graduación, se espera una disminución en el tiempo de producción de la comida; no existirán esperas en central de equipos por humedad y disminuirá el consumo de vapor, generando ahorros energéticos y económicos.
8. Los trabajadores del Área de Lavandería deben manipular la ropa sucia con guantes y mascarillas, para eliminar o minimizar el factor de riesgo que pueda afectar su salud o su vida, por contacto con material infeccioso. Además, se debe mejorar la iluminación para evitar fatiga laboral dentro de la institución.
9. Es de suma importancia reinstalar la bomba del túnel para liberar las vías de retorno de condensado. El fluido está retornando al tanque, producto de la presión que genera el líquido al salir de las trampas de vapor, las cuales no están diseñadas para este efecto. Por esta razón permiten que parte del condensado regrese a las líneas de distribución de vapor generando pérdida de calor ocasionada por el contacto entre ellos.
10. Actualmente, el hospital puede ahorrarse 109 484,45 quetzales al año en consumo de diésel, al minimizar las pérdidas de vapor en el sistema, si se invierten 800,00 quetzales, para reparar las fugas de vapor y 12 817,44 en aislante térmico para tubería.

11. El hospital General San Juan de Dios puede apoyar al medio ambiente por medio de un sistema de recolección de productos para reciclaje, si pone en práctica procedimientos que logren, el mayor aprovechamiento de los recursos generados dentro de esta institución Nacional.
  
12. Implementar el ciclo PHVA como método, en estrecha relación con la norma ISO 9001, dará al hospital General San Juan de Dios herramientas fundamentales para lograr la mejora continua dentro de los servicios prestados en cada departamento y en especial por los realizados en el área de mantenimiento.



## RECOMENDACIONES

1. Estudiar métodos para mejorar el mantenimiento preventivo y correctivo para la red de distribución de vapor, para mantener en buen estado los equipos necesarios para el funcionamiento de la institución. Si la red colapsara, no habría alimentos para los pacientes, tampoco ropa limpia y no se podrían esterilizar los insumos necesarios para las actividades en el campo médico quirúrgico.
2. Retirar de la red aquellos equipos que, debido a su antigüedad, ya no representan garantía para el buen funcionamiento de la red. Entre ellos están una trampa de vapor para secadora, los serpentines de dos secadoras que deben ser cambiados, en el área de lavandería y la bomba, en el área del túnel que no está funcionando.
3. Actualmente, se pierden galones diarios de condensado por incapacidad del tanque que lo recibe; también se pierde agua potable porque la caldera demanda más condensado que la que el tanque proporciona, por ello, se recomienda aumentar la capacidad del tanque de retorno de condensado o crear una cisterna que reciba el excedente. Realizando esto se disminuye el consumo de agua potable y el aumento de la corrosión en la red, por no utilizar solamente agua tratada para fines industriales.

4. Debido al tiempo de uso de las calderas y su importancia, se recomienda realizar un estudio del estado actual de la caldera e implementar una renovación de las partes que estén propensas por fallar. Si el costo es muy elevado considerar la compra de una nueva caldera para obtener mejor calidad en el servicio de vapor para los equipos.
5. Reducir las condiciones inseguras en el Área de Lavandería, proporcionando al personal la protección necesaria, para la manipulación de la ropa sucia. De esta manera, se evitarán o minimizarán los factores de riesgo que pueden afectar la salud de los trabajadores por contacto con elementos contaminados.
6. Mantener un control estricto de la eficiencia de la caldera, ya que esto reducirá el consumo de diésel. Al disminuir el consumo de este combustible también se reducen los costos de producción de vapor y se protegerá el ambiente, ya que este combustible es el responsable de producir CO<sub>2</sub> el cual es un gas de efecto invernadero.
7. Generar ingresos económicos y al mismo tiempo apoyar al medio ambiente por medio de un sistema de recolección de productos para reciclaje, al implementar procedimientos que logren el mayor aprovechamiento de los recursos generados dentro del Hospital General San Juan de Dios.
8. Utilizar como indicadores estadísticos los siguientes: tiempo promedio operativo TPO, tiempo promedio entre fallas TPEF, tiempo promedio fuera de servicio TPFS, tiempo promedio para reparar TPPR y tiempo promedio fuera de control TPFC.

9. Implementar auditorías internas y externas, con los siguientes posibles valores de los elementos analizados; numerados de la siguiente manera: “3” si la respuesta a la cuestión planteada es muy favorable, “2” si la situación es mejorable, aunque aceptable; “1” si la situación es desfavorable y se hace necesario un cambio; y “0” si la respuesta es tan desalentadora y se considera la situación como pérdida.
10. Verificar la gestión de mantenimiento para cumplir con los siguientes objetivos: reducir la probabilidad de presencia de fallas (confiabilidad), recuperar la operatividad del sistema, una vez que se ha producido la falla (mantenibilidad), incrementar la continuidad operacional de los activos y minimizar la consecuencia de las fallas (disponibilidad).
11. Recurrir a el análisis de Beneficio/costo, cuando se deba decidir si un proyecto se realizará o no. El proceso involucra el total de los gastos, contra el total de los beneficios previstos, de una o más acciones para seleccionar la mejor opción o la más rentable y, de esta manera, se garantizará que los recursos serán utilizados de la mejor manera.
12. Utilizar este informe como referencia para optimizar la red de distribución de vapor y retorno de condensado en el hospital. En él se encuentran las bases para reducir el consumo de diésel, aumentar la eficiencia en los equipos y cuidar el ambiente a través de cambios que pueden ser realizados por la institución.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ANGUIANO PANTOJA, Jorge Luis; ASTUDILLO VELÁZQUEZ, Armando Jehú y HERNÁNDEZ COLÍN Hernán. *Trampas de vapor* [en línea]. < <http://es.scribd.com/doc/44858397/Trampas-Expo>.> [Consulta: enero de 2016].
2. Ávila. *Agua potable* [en línea]. < [mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/agua\\_potable.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/agua_potable.htm).> [Consulta: febrero de 2016].
3. Centro de Sanidad Ambiental. *La contaminación del aire ficha técnica*. [en línea]. < <http://www.ambientea42.blogspot.com/2013/09/la-contaminacion-del-aire.html> > [Consulta: enero de 2016].
4. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía. *Beneficios del aislante térmico en la industria. Secretaría de Energía México*. [en línea]. < <http://www.conouee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/10/aislamiento.pdf>.> [Consulta: enero de 2016].
5. *Contaminación y Purificación del Agua* [en línea]. <<http://contaminacion-purificacion-agua.blogspot.com>.> [Consulta: febrero de 2016].
6. *Diagrama de Causa y Efecto. Ishikawa* [en línea]. < [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/metodoogy/tools/diagrama\\_causa\\_efecto.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/metodoogy/tools/diagrama_causa_efecto.pdf).> [Consulta: enero de 2016].

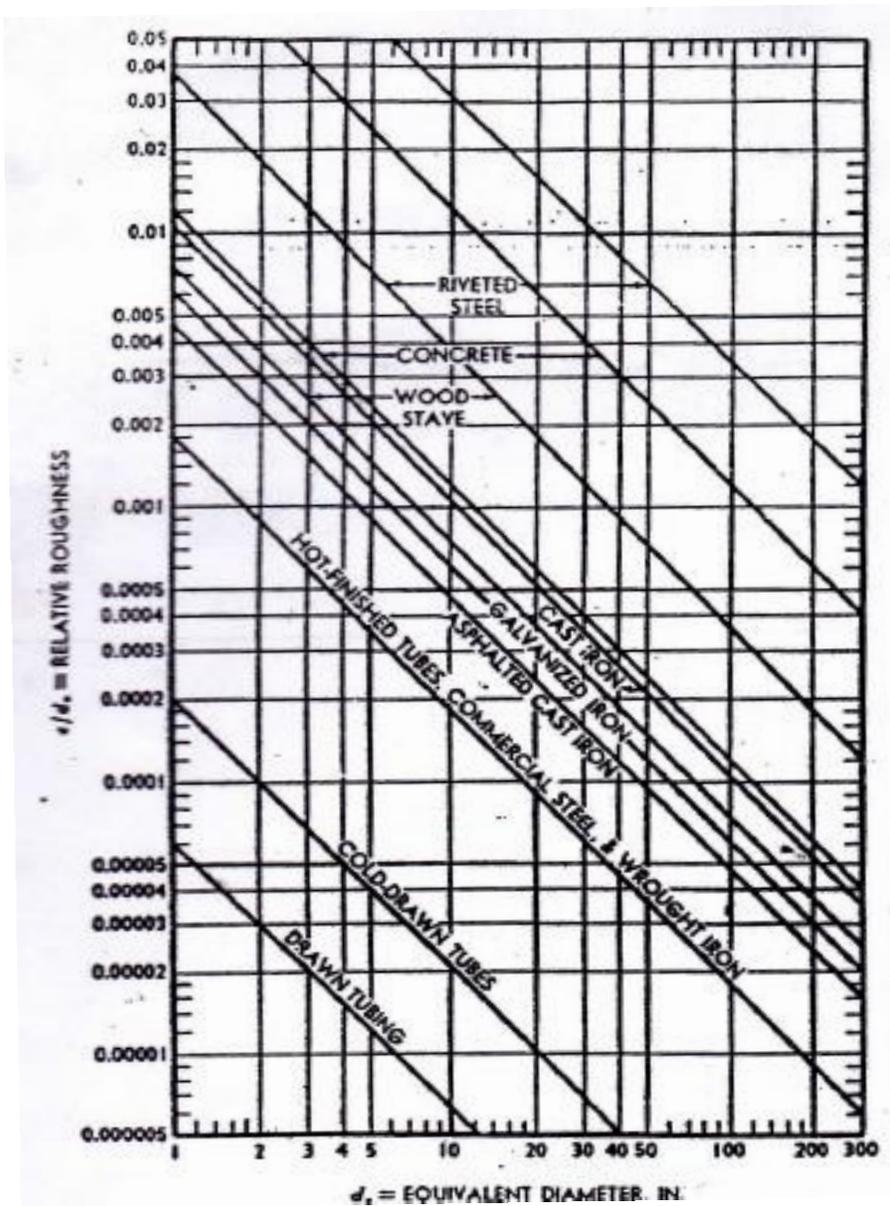
7. FACTOR 4 Ingenieros consultores. *Tuberías*. [en línea] < [http://www.solarweb.net/forosolar/attachments/solar-termica/50d1197473824 – capacidad – tubería – características - tuberias.pdf](http://www.solarweb.net/forosolar/attachments/solar-termica/50d1197473824-capacidad-tuberia-caracteristicas-tuberias.pdf) . > [Consulta: diciembre de 2015].
8. Guía para el análisis y evaluación de calderas y redes de distribución de vapor. *Inspección estatal energética Cuba*. [en línea]. < [http:// www. energia. inf. cu/iee-mep / Document / vapor. pdf](http://www.energia.inf.cu/iee-mep/Document/vapor.pdf) . > [Consulta: septiembre de 2015].
9. Hospital General San Juan de Dios. [en línea]. < [http://www.hospital sanjuandediosguatemala.com/infogeneral.shtml](http://www.hospital-sanjuandediosguatemala.com/infogeneral.shtml) . > [Consulta: noviembre de 2016].
10. *Mantenimiento preventivo* [en línea]. < [www.mantenimiento planificado. com.Pdf](http://www.mantenimiento-planificado.com/Pdf).> [Consulta: enero de 2016].
11. MCKEOWN, Rosalyn. *Manual de educación para el desarrollo sostenible* [en línea]. < [http://www.esdtoolkit.org/Manual\\_EDS\\_esp 01.pdf](http://www.esdtoolkit.org/Manual_EDS_esp01.pdf).> [Consulta: enero de 2016].
12. Naciones Unidas Centro de Información. *Labor ONU* [en línea]. México Cuba y República Dominicana. < [http://www.cinu.org.mx/ninos/html/ onu\\_n5.htm](http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm).> [Consulta: febrero de 2016].

13. 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 de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2011. 98 p.
14. Spirax Sarco. *Distribución de vapor: Guía de referencia térmica* [en línea]. Argentina. <<http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm-03.pdf>> [Consulta: octubre de 2015].
15. WIKIPEDIA Enciclopedia Libre. *Aislante térmico* [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante\\_t%C3%A9rmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante_t%C3%A9rmico)> [Consulta: enero de 2016].
16. YUNUS A, Cengel; MICHAEL A, Boles. *Termodinámica*. 6a ed. México. McGraw-Hill. 1 048 p.
17. ZERPA, Enrique. *Codos*. [en línea]. <<http://html.rincondelvago.com/accesorios-de-tuberias.html>> [Consulta: enero de 2016].



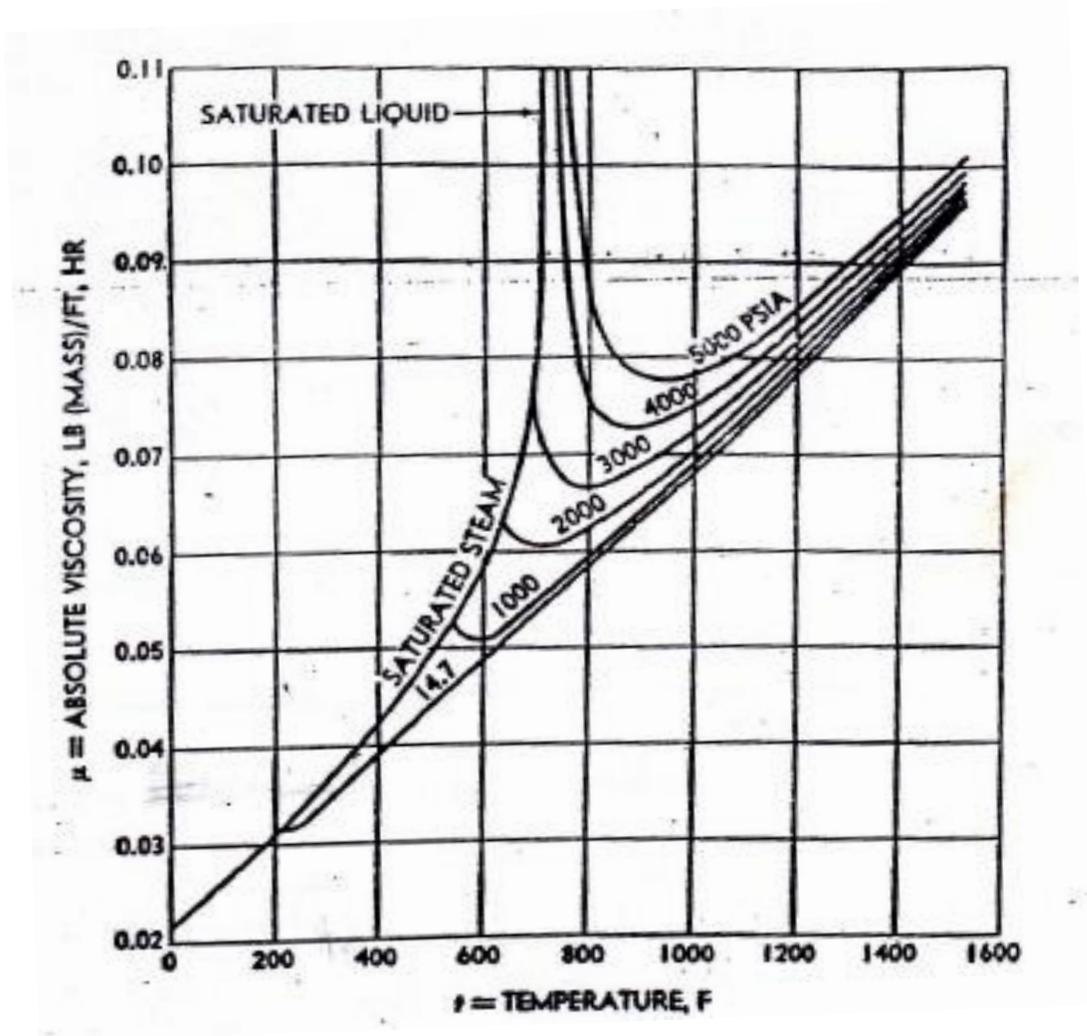
# ANEXOS

## Anexo 1. Rugosidad relativa



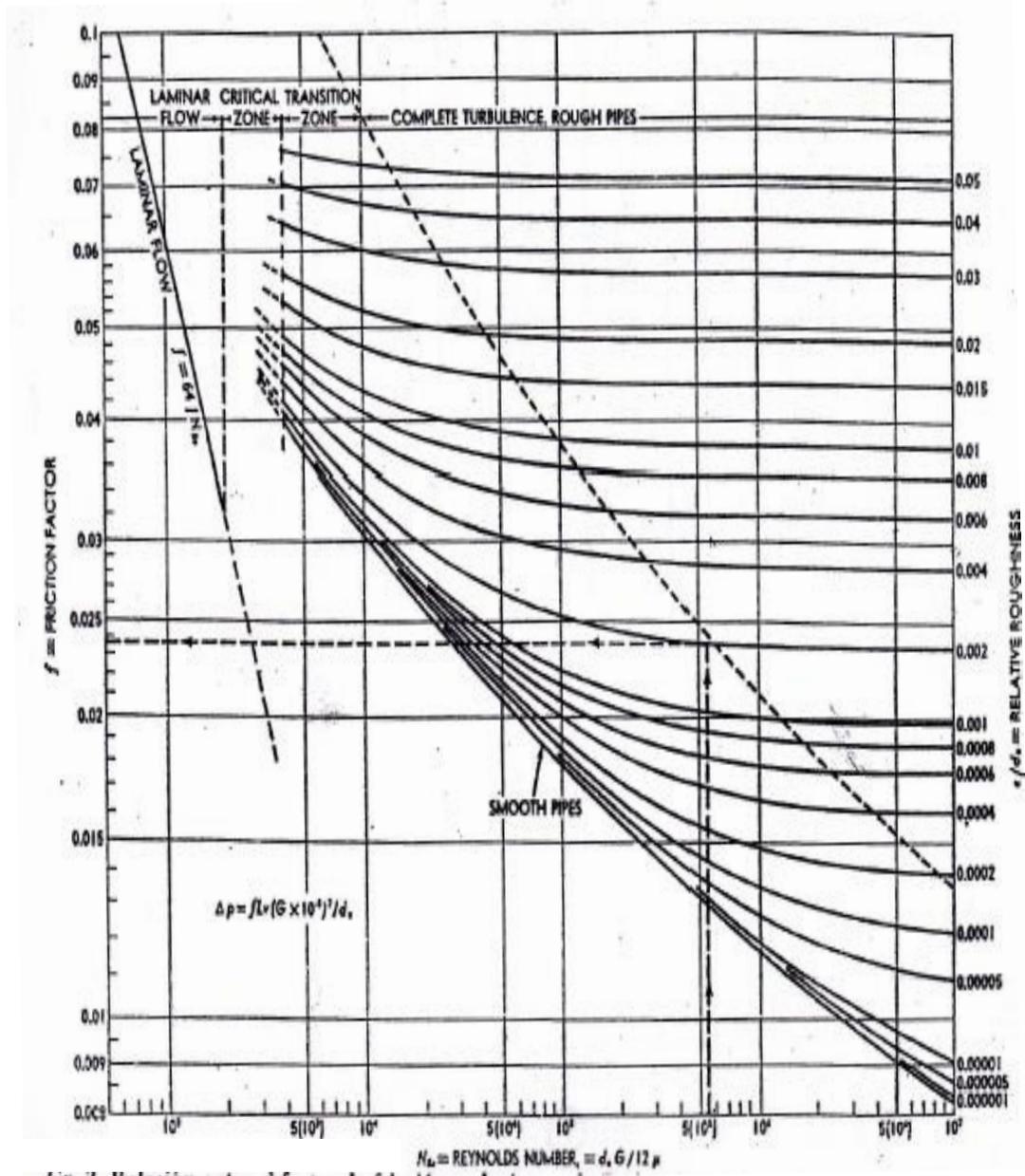
Fuente: material de apoyo, curso Instalaciones Mecánicas, Universidad San Carlos de Guatemala

Anexo 2. Viscosidad absoluta de vapor saturado y sobrecalentado



Fuente: material de apoyo, curso Instalaciones Mecánicas, Universidad San Carlos de Guatemala

Anexo 3. Relación entre factor de fricción y número de Reynolds



Fuente: material de apoyo, curso Instalaciones Mecánicas, Universidad San Carlos de Guatemala

### Anexo 4. Propiedad del agua saturada; tabla de presión

$v$ , ft<sup>3</sup>/lb;  $u$  y  $h$ , Btu/lb;  $s$ , Btu/(lb·°R)

Pres. abs., psi $P$	Temp., °F $T$	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía			Pres. abs., psi $P$
		Líquido sat. $v_f$	Vapor sat. $v_g$	Líquido sat. $u_f$	Vapor sat. $u_g$	Líquido sat. $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Vapor sat. $h_g$	Líquido sat. $s_f$	Evap. $s_{fg}$	Vapor sat. $s_g$	
0.4	72.84	0.01606	792.0	40.94	1034.7	40.94	1052.3	1093.3	0.0800	1.9760	2.0559	0.4
0.6	85.19	0.01609	540.0	53.26	1038.7	53.27	1045.4	1098.6	0.1029	1.9184	2.0213	0.6
0.8	94.35	0.01611	411.7	62.41	1041.7	62.41	1040.2	1102.6	0.1195	1.8773	1.9968	0.8
1.0	101.70	0.01614	333.6	69.74	1044.0	69.74	1036.0	1105.8	0.1327	1.8453	1.9779	1.0
1.2	107.88	0.01616	280.9	75.90	1046.0	75.90	1032.5	1108.4	0.1436	1.8190	1.9626	1.2
1.5	115.65	0.01619	227.7	83.65	1048.5	83.65	1028.0	1111.7	0.1571	1.7867	1.9438	1.5
2.0	126.04	0.01623	173.75	94.02	1051.8	94.02	1022.1	1116.1	0.1750	1.7448	1.9198	2.0
3.0	141.43	0.01630	118.72	109.38	1056.6	109.39	1013.1	1122.5	0.2009	1.6852	1.8861	3.0
4.0	152.93	0.01636	90.64	120.88	1060.2	120.89	1006.4	1127.3	0.2198	1.6426	1.8624	4.0
5.0	162.21	0.01641	73.53	130.15	1063.0	130.17	1000.9	1131.0	0.2349	1.6093	1.8441	5.0
6.0	170.03	0.01645	61.98	137.98	1065.4	138.00	996.2	1134.2	0.2474	1.5819	1.8292	6.0
7.0	176.82	0.01649	53.65	144.78	1067.4	144.80	992.1	1136.9	0.2581	1.5585	1.8167	7.0
8.0	182.84	0.01653	47.35	150.81	1069.2	150.84	988.4	1139.3	0.2675	1.5383	1.8058	8.0
9.0	188.26	0.01656	42.41	156.25	1070.8	156.27	985.1	1141.4	0.2760	1.5203	1.7963	9.0
10	193.19	0.01659	38.42	161.20	1072.2	161.23	982.1	1143.3	0.2836	1.5041	1.7877	10
14.696	211.99	0.01672	26.80	180.10	1077.6	180.15	970.4	1150.5	0.3121	1.4446	1.7567	14.696
15	213.03	0.01672	26.29	181.14	1077.9	181.19	969.7	1150.9	0.3137	1.4414	1.7551	15
20	227.96	0.01683	20.09	196.19	1082.0	196.26	960.1	1156.4	0.3358	1.3962	1.7320	20
25	240.08	0.01692	16.31	208.44	1085.3	208.52	952.2	1160.7	0.3535	1.3607	1.7142	25
30	250.34	0.01700	13.75	218.84	1088.0	218.93	945.4	1164.3	0.3682	1.3314	1.6996	30
35	259.30	0.01708	11.90	227.93	1090.3	228.04	939.3	1167.4	0.3809	1.3064	1.6873	35
40	267.26	0.01715	10.50	236.03	1092.3	236.16	933.8	1170.0	0.3921	1.2845	1.6767	40
45	274.46	0.01721	9.40	243.37	1094.0	243.51	928.8	1172.3	0.4022	1.2651	1.6673	45
50	281.03	0.01727	8.52	250.08	1095.6	250.24	924.2	1174.4	0.4113	1.2476	1.6589	50
55	287.10	0.01733	7.79	256.28	1097.0	256.46	919.9	1176.3	0.4196	1.2317	1.6513	55

TABLAS Y FIGURAS SUPLEMENTARIAS (UNIDADES DEL USCS) 871

Continuación de anexo 4.

Pres. abs., psi P	Temp., °F T	Volumen específico		Energía interna		Entalpia			Entropía			Pres. abs., sat. P
		Líquido abs., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líquido sat., $u_f$	Vapor sat., $u_g$	Líquido sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líquido sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$	
60	292.73	0.01738	7.177	262.1	1098.3	262.2	915.8	1178.0	0.4273	1.2170	1.6443	60
65	298.00	0.01743	6.647	267.5	1099.5	267.7	911.9	1179.6	0.4345	1.2035	1.6380	65
70	302.96	0.01748	6.209	272.6	1100.6	272.8	908.3	1181.0	0.4412	1.1909	1.6321	70
75	307.63	0.01752	5.818	277.4	1101.6	277.6	904.8	1182.4	0.4475	1.1790	1.6265	75
80	312.07	0.01757	5.474	282.0	1102.6	282.2	901.4	1183.6	0.4534	1.1679	1.6213	80
85	316.29	0.01761	5.170	286.3	1103.5	286.6	898.2	1184.8	0.4591	1.1574	1.6165	85
90	320.31	0.01766	4.898	290.5	1104.3	290.8	895.1	1185.9	0.4644	1.1475	1.6119	90
95	324.16	0.01770	4.654	294.5	1105.0	294.8	892.1	1186.9	0.4695	1.1380	1.6075	95
100	327.86	0.01774	4.434	298.3	1105.8	298.6	889.2	1187.8	0.4744	1.1290	1.6034	100
110	334.82	0.01781	4.051	305.5	1107.1	305.9	883.7	1189.6	0.4836	1.1122	1.5958	110
120	341.30	0.01789	3.730	312.3	1108.3	312.7	878.5	1191.1	0.4920	1.0966	1.5886	120
130	347.37	0.01796	3.457	318.6	1109.4	319.0	873.5	1192.5	0.4999	1.0822	1.5821	130
140	353.08	0.01802	3.221	324.6	1110.3	325.1	868.7	1193.8	0.5073	1.0688	1.5761	140
150	358.48	0.01809	3.016	330.2	1111.2	330.8	864.2	1194.9	0.5142	1.0562	1.5704	150
160	363.60	0.01815	2.836	335.6	1112.0	336.2	859.8	1196.0	0.5208	1.0443	1.5651	160
170	368.47	0.01821	2.676	340.8	1112.7	341.3	855.6	1196.9	0.5270	1.0330	1.5600	170
180	373.13	0.01827	2.553	345.7	1113.4	346.3	851.5	1197.8	0.5329	1.0223	1.5552	180
190	377.59	0.01833	2.405	350.4	1114.0	351.0	847.5	1198.6	0.5386	1.0122	1.5508	190
200	381.86	0.01839	2.289	354.9	1114.6	355.6	843.7	1199.3	0.5440	1.0025	1.5465	200
250	401.04	0.01865	1.845	375.4	1116.7	376.2	825.8	1202.1	0.5680	0.9594	1.5274	250
300	417.43	0.01890	1.544	393.0	1118.2	394.1	809.8	1203.9	0.5883	0.9232	1.5115	300
350	431.82	0.01912	1.327	408.7	1119.0	409.9	795.0	1204.9	0.6060	0.8917	1.4977	350
400	444.70	0.01934	1.162	422.8	1119.5	424.2	781.2	1205.5	0.6218	0.8638	1.4856	400

Fuente: material de apoyo, curso Instalaciones Mecánicas, Universidad San Carlos de Guatemala.

