



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

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL  
PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**

**Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán**

Asesorado por el Ing. Alfonso José Isidro Salvador del Busto Maza

Guatemala, julio de 2011



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL  
PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NICOLÁS ALEJANDRO CUYÚN GAITÁN**  
ASESORADO POR EL ING. ALFONSO JOSÉ ISIDRO SALVADOR DEL  
BUSTO MAZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, JULIO DE 2011



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |      |                                |
|------------|------|--------------------------------|
| DECANO     | Ing. | Murphy Olympo Paiz Recinos     |
| VOCAL I    | Ing. | Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. | Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Ing. | Miguel Ángel Dávila Calderón   |
| VOCAL IV   | Br.  | Juan Carlos Molina Jiménez     |
| VOCAL V    | Br.  | Mario Maldonado Muralles       |
| SECRETARIO | Ing. | Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |       |                                  |
|------------|-------|----------------------------------|
| DECANO     | Ing.  | Murphy Olympo Paiz Recinos       |
| EXAMINADOR | Ing.  | Carlos Aníbal Chicojay Coloma    |
| EXAMINADOR | Ing.  | César Augusto Akú Castillo       |
| EXAMINADOR | Ing.  | Leonel Estuardo Godínez Alquijay |
| SECRETARIA | Inga. | Marcia Ivonne Véliz Vargas       |

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL PEDRO DE  
BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 17 de noviembre del 2008



---

**Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán**

Guatemala, 23 de Mayo de 2011

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Urquizú:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que el estudiante universitario Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán, Carné 2000-11265, ha concluido el trabajo de graduación titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA”**.

Después de asesorar y efectuar las revisiones correspondientes, considero que dicho trabajo llena satisfactoriamente los requisitos existentes en la Facultad de Ingeniería, procediendo por este medio a su aprobación.

Agradeciendo su atención a la presente, me suscribo de usted.

  
Ing. Alfonso José Isidro Salvador Del Busto Maza  
Asesor  
Colegiado 3459



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.099.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

María Martha Wolford Estrada  
Ingeniera Industrial  
Colegiada 8659

Inga. María Martha Wolford Estrada de Hernández  
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala junio de 2011.

/mgp



REF.DIR.EMI.085.011

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 **ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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



Guatemala, julio de 2011.

/mgp



DTG. 251.2011.

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: **ESTUDIO Y DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL HOSPITAL NACIONAL PEDRO DE BETHANCOURT, ANTIGUA GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Nicolás Alejandro Cuyún Gaitán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 13 de julio de 2011.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Ser Supremo Todopoderoso, que me embelesa de bendiciones, sabiduría y protección y me da la oportunidad de concluir una de las metas en mi vida.
- La Virgen María** Madre Santísima que me guía por el buen camino e intercede en todo momento por sus hijos amados.
- Mis padres** Luis Enrique Cuyún de León y Sonia Patricia Gaitán Juárez de Cuyún, por su amor sin condición, la paciencia, el esfuerzo y la entereza cual a la fecha siguen haciendo de mí un hombre con visión.
- Mis hermanos** Luis, Adriana, Magda, Ruth, Laura, Andrés, Pilar y Paula, todo mi amor y cariño, por su apoyo y ejemplo en mi vida.
- Mis sobrinos** Que son fuente de vida y mantienen vivo el sonido en casa llenando de sonrisas cada rincón, con sus aventuras.
- Mis abuelos** José María Gaitán, por detener el tiempo en tus manos, con tus consejos y experiencias que aún escucho al cerrar los ojos, que en paz descanses; a Ruth Juárez, gracias por que le muestras a esta

familia el significado de la unión, y a Magdalena de León, quien me da ejemplo de luchar ante todo.

**Mi familia**

Tíos y primos que sin duda alguna sepan que sus consejos han sido bien aplicados.

**Mis amigos**

Quienes hoy me acompañan en este acto y aquéllos que durante y desde antes del inicio de esta carrera continúan siendo mejores.

**Mi asesor**

Ing. Alfonso José Isidro Salvador del Busto Maza por brindarme todo el apoyo y conocimiento como profesional y como ser humano.

**Usted**

Quien siempre compartirá mi deseo de ser y aprender a conocer más allá de los límites y por aquellos que aún tengan que venir.

## **AGRADECIMIENTO A:**

Dios todopoderoso, amigo que nunca falla y quien siempre está conmigo en todo momento de mi vida. Y porque es el único merecedor de recibir toda la honra y gloria.

Las personas que conforman la administración del Hospital Nacional Pedro de Bethancourt de La Antigua Guatemala, por permitirme realizar la investigación y desarrollo de este trabajo.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Ingeniería.

Los catedráticos que siempre me alentaron a alcanzar y buscar nuevas metas.

Los compañeros y amigos que en diferentes ocasiones coincidimos en clases, en los pasillos de la Universidad o simplemente en el caminar de la vida.



# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES  | I    |
| LISTA DE SÍMBOLOS  | V    |
| GLOSARIO   | VII  |
| RESUMEN  | XIII |
| OBJETIVOS  | XV   |
| INTRODUCCIÓN   | XVII |
| <br>   |      |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES  | 1    |
| 1.1. Antecedentes históricos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social | 1    |
| 1.1.1. Actividades del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social           | 2    |
| 1.2. Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt                           | 3    |
| 1.2.1. Historia  | 3    |
| 1.2.2. Ubicación   | 4    |
| 1.2.3. Organización  | 5    |
| 1.2.3.1. Visión  | 7    |
| 1.2.3.2. Misión  | 7    |
| 1.3. Mantenimiento   | 7    |
| 1.3.1. Conceptos básicos   | 9    |
| 1.4. Jefatura de mantenimiento   | 11   |
| 1.4.1. Actividades   | 12   |
| 1.4.2. Organización  | 13   |
| 1.4.3. Ubicación de calderas, cocina, lavandería y autoclave                     | 16   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.4.4. | Personal  | 16 |
| 1.4.5. | Jornada de trabajo  | 17 |
| 1.5.   | Descripción de los elementos de la red de distribución de vapor | 17 |
| 1.5.1. | Calderas  | 17 |
| 1.5.2. | Tuberías  | 18 |
| 1.5.3. | Juntas de dilatación  | 18 |
| 1.5.4. | Válvulas  | 19 |
|        | 1.5.4.1. Válvulas de compuerta                                  | 19 |
|        | 1.5.4.2. Válvulas de globo                                      | 20 |
|        | 1.5.4.3. Válvulas de bola                                       | 21 |
|        | 1.5.4.4. Válvulas de retención                                  | 23 |
| 1.5.5. | Filtros   | 24 |
| 1.5.6. | Trampas de vapor  | 25 |
|        | 1.5.6.1. Trampa de vapor tipo balde invertido                   | 25 |
|        | 1.5.6.2. Trampa de vapor de disco                               | 27 |
| 1.5.7. | Material aislante   | 28 |
| 1.6.   | Vapor es energía  | 28 |
| 1.6.1. | Características del vapor                                       | 29 |
| 1.6.2. | Clasificación del vapor   | 32 |
| 1.7.   | Trampa de vapor   | 33 |
| 1.7.1. | Clasificación de trampas de vapor                               | 34 |
|        | 1.7.1.1. Termostático   | 34 |
|        | 1.7.1.2. Mecánica   | 37 |
|        | 1.7.1.3. Termodinámica  | 41 |
| 1.7.2. | Importancia de las trampas de vapor                             | 43 |
| 1.7.3. | Mantenimiento de las trampas de vapor                           | 43 |
|        | 1.7.3.1. Fuga de gas  | 43 |
|        | 1.7.3.2. Fuga de vapor  | 44 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 1.7.4.   | Criterios de seguridad para trampas de vapor           | 45 |
| 2.       | DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL                     | 49 |
| 2.1.     | Situación actual de la red de distribución de vapor    | 49 |
| 2.2.     | Descripción general de las instalaciones del hospital  | 49 |
| 2.2.1.   | Lavandería   | 51 |
| 2.2.1.1. | Descripción de equipos                                 | 52 |
| 2.2.1.2. | Requerimiento de vapor                                 | 52 |
| 2.2.2.   | Cocina   | 60 |
| 2.2.2.1. | Descripción de equipos                                 | 61 |
| 2.2.2.2. | Requerimiento de vapor                                 | 61 |
| 2.2.3.   | Autoclave  | 62 |
| 2.2.3.1. | Descripción de equipos                                 | 62 |
| 2.2.3.2. | Requerimiento de vapor                                 | 63 |
| 2.3.     | Condiciones, inspección y descripción de equipos       | 63 |
| 2.3.1.   | Condiciones del agua suministrada                      | 64 |
| 2.3.2.   | Inspección y descripción del estado de accesorios      | 66 |
| 2.3.2.1. | Trampas de vapor                                       | 67 |
| 2.3.2.2. | Tuberías y accesorios                                  | 68 |
| 2.3.2.3. | Válvulas   | 71 |
| 2.3.2.4. | Manómetros   | 71 |
| 2.3.2.5. | Juntas de dilatación                                   | 72 |
| 2.4.     | Cálculos de eficiencia, eficacia y costos de operación | 72 |
| 2.4.1.   | Presión y temperatura                                  | 75 |
| 2.4.2.   | Capacidad de vapor proporcionada por la caldera        | 76 |
| 2.4.3.   | Determinación de la calidad de vapor                   | 77 |
| 2.4.4.   | Método del separador                                   | 77 |
| 2.4.5.   | Costos de operación kilogramo de vapor por hora        | 78 |
| 2.4.6.   | Planilla del recurso humano involucrado                | 78 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 2.5.     | Resultados y comparaciones                                   | 78  |
| 3.       | PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR | 81  |
| 3.1.     | Evaluación de la distribución de tuberías                    | 81  |
| 3.1.1.   | Aislante térmico en tuberías de distribución del vapor       | 83  |
| 3.1.1.1. | Conexiones   | 84  |
| 3.1.1.2. | Uniones  | 85  |
| 3.1.2.   | Aislante térmico en accesorios de tuberías                   | 86  |
| 3.1.3.   | Prevención de fugas de vapor                                 | 88  |
| 3.1.4.   | Ubicación de trampas de vapor                                | 89  |
| 3.1.4.1. | Aplicación de procesos                                       | 90  |
| 3.1.4.2. | Aplicación de protección de líneas                           | 91  |
| 3.1.5.   | Identificación de tuberías por código de colores             | 92  |
| 3.1.5.1. | Código de colores para tubería de vapor                      | 92  |
| 3.2.     | Pre calentador de Chimenea                                   | 94  |
| 3.3.     | Mantenimiento en operación                                   | 95  |
| 3.3.1.   | Control de operación diaria                                  | 98  |
| 3.3.2.   | Fichas de control de la caldera                              | 99  |
| 3.3.3.   | Ficha de control de gases                                    | 101 |
| 3.3.4.   | Inspección de fugas en la tubería                            | 101 |
| 3.3.5.   | Inspección de trampas de vapor                               | 104 |
| 3.3.5.1. | Trampa fría y sin descarga                                   | 105 |
| 3.3.5.2. | Trampa caliente y sin descarga                               | 106 |
| 3.3.5.3. | Pérdida de calor   | 107 |
| 3.3.5.4. | Flujo continuo   | 108 |
| 3.3.5.5. | Calentamiento lento  | 108 |

|      |          |  |                                       |                                 |     |
|------|----------|--|---------------------------------------|---------------------------------|-----|
|      | 3.3.5.6. | Problemas misteriosos  | 109                                   |                                 |     |
|      | 3.3.5.7. | Problemas imaginarios  | 110                                   |                                 |     |
| 3.4. |          | Mantenimiento fuera de operación                                 | 110                                   |                                 |     |
|      | 3.4.1.   | Mantenimiento de la caldera                                      | 112                                   |                                 |     |
|      |          | 3.4.1.1.   | Mantenimiento preventivo              | 112                             |     |
|      |          | 3.4.1.2.   | Mantenimiento correctivo              | 113                             |     |
|      |          | 3.4.1.3.   | Mantenimiento predictivo              | 113                             |     |
|      | 3.4.2.   | Ficha de control de agua de alimentación                         | 118                                   |                                 |     |
|      | 3.4.3.   | Ficha de control de mantenimiento                                | 121                                   |                                 |     |
| 3.5. |          | Implementación de un calentador                                  | 122                                   |                                 |     |
| 3.6. |          | Costo por mantenimiento  | 123                                   |                                 |     |
| 4.   |          | IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS A LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR      | 125                                   |                                 |     |
|      | 4.1.     | Instalación de trampas de vapor y aislamiento                    | 125                                   |                                 |     |
|      | 4.2.     | Instalación de precalentador en la caldera                       | 127                                   |                                 |     |
|      | 4.3.     | Análisis de costo de mejoramiento                                | 129                                   |                                 |     |
|      | 4.4.     | Uso eficiente de la instalación                                  | 130                                   |                                 |     |
|      | 4.5.     | Procedimiento de inspección y evaluación de las trampas de vapor | 131                                   |                                 |     |
|      |          | 4.5.1.   | Método de inspección                  | 133                             |     |
|      |          | 4.5.2.   | Método de evaluación                  | 133                             |     |
|      |          | 4.5.3.   | Evaluación estándar en disco          | 134                             |     |
|      |          | 4.5.4.   | Evaluación estándar de flotador libre | 134                             |     |
|      | 4.6.     | Diseño de tuberías   | 135                                   |                                 |     |
|      |          | 4.6.1.   | Cargas de diseño de tuberías          | 138                             |     |
|      |          |  | 4.6.1.1.                              | Cargas por la presión de diseño | 138 |
|      |          |  | 4.6.1.2.                              | Cargas por peso                 | 138 |
|      |          |  | 4.6.1.3.                              | Cargas dinámicas                | 139 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 4.6.1.4. | Efectos de la expansión y/o<br>contracción térmica                  | 139 |
| 4.6.1.5. | Efectos de los soportes, anclajes y<br>movimiento en las terminales | 140 |
| 4.6.1.6. | Esfuerzos admisibles  | 140 |
| 4.6.2.   | Presión de diseño   | 141 |
| 4.6.3.   | Temperatura de diseño   | 141 |
| 4.6.4.   | Análisis de flexibilidad  | 142 |
| 4.6.5.   | Diseño de soporte   | 143 |
| 4.6.5.1. | Recopilación de información básica                                  | 144 |
| 4.6.5.2. | Guías generales sobre ubicación de<br>soportes                      | 145 |
| 4.6.5.3. | Espaciamientos de soportes  | 146 |
| 4.6.5.4. | Cargas en los soportes  | 147 |
| 5.       | CONTINUIDAD, MEJORA CONTINUA Y RESULTADOS                           | 149 |
| 5.1.     | Reestructuración del organigrama                                    | 149 |
| 5.1.1.   | Perfiles mínimos recomendados                                       | 150 |
| 5.2.     | Administración del sistema de trampas de vapor                      | 153 |
| 5.3.     | Capacitación del recurso humano                                     | 154 |
| 5.4.     | Beneficio para la organización                                      | 156 |
| 5.5.     | Beneficio para el personal  | 157 |
| 5.6.     | Programa de pruebas de trampas de vapor                             | 158 |
| 5.7.     | Auditoría del sistema de vapor                                      | 158 |
|          | CONCLUSIONES  | 165 |
|          | RECOMENDACIONES   | 167 |
|          | BIBLIOGRAFÍA  | 169 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Organigrama del Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt | 6  |
| 2.  | Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento       | 15 |
| 3.  | Junta de dilatación   | 19 |
| 4.  | Válvula de compuerta  | 20 |
| 5.  | Válvula de globo  | 21 |
| 6.  | Válvula de bola   | 22 |
| 7.  | Válvula de cheque   | 23 |
| 8.  | Filtros de vapor  | 24 |
| 9.  | Trampa balde invertido  | 26 |
| 10. | Trampa termodinámica  | 27 |
| 11. | Diagrama de un sistema de vapor                                   | 33 |
| 12. | Trampa termostática   | 35 |
| 13. | Trampa mecánica   | 37 |
| 14. | Trampa termodinámica  | 42 |
| 15. | Distribución de lavandería  | 50 |
| 16. | Lavadora Renazcci   | 53 |
| 17. | Lavadora Defranceschi   | 54 |
| 18. | Lavadora Milnor   | 55 |
| 19. | Planchadora tipo prensa   | 56 |
| 20. | Secadora de ropa Imesa  | 57 |
| 21. | Secadora Huebsch  | 58 |
| 22. | Secadora planchadora Lavital                                      | 59 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 23. | Diagrama de vapor para central de equipos   | 61  |
| 24. | Tanque de alimentación de agua a la caldera | 63  |
| 25. | Sistema de alimentación de la caldera       | 64  |
| 26. | Sistema de abastecimiento de combustible    | 65  |
| 27. | Situación actual de las trampas de vapor    | 66  |
| 28. | Situación actual de llave de paso           | 67  |
| 29. | Situación actual de tuberías                | 68  |
| 30. | Situación actual de tuberías y accesorios   | 69  |
| 31. | Situación actual de las válvulas            | 70  |
| 32. | Situación actual de los manómetros          | 71  |
| 33. | Sistema de vapor                            | 92  |
| 34. | Cintas marcadoras                           | 94  |
| 35. | Serpentín en chimenea de caldera            | 95  |
| 36. | Reestructuración de organigrama             | 150 |

## **TABLAS**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.    | Características de tubería cédula 40                 | 18 |
| II.   | Selección de trampas y factores de seguridad         | 47 |
| III.  | Descripción de lavadora industrial Renzacci          | 52 |
| IV.   | Descripción de la lavadora industrial Defranceschi   | 53 |
| V.    | Descripción de la lavadora industrial Milnor         | 54 |
| VI.   | Descripción de la planchadora industrial tipo prensa | 55 |
| VII.  | Descripción de la secadora de ropa Imesa             | 56 |
| VIII. | Descripción de la secadora industrial Huebsch        | 57 |
| IX.   | Descripción de la secadora planchadora Lavital       | 58 |
| X.    | Consumo de aparatos de cocina                        | 60 |
| XI.   | Requerimientos por aparato                           | 62 |
| XII.  | Pérdidas   | 72 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| XIII.  | Costos de recuperación  | 73  |
| XIV.   | Tabla de ahorro de caldera  | 74  |
| XV.    | Recurso humano  | 77  |
| XVI.   | Recomendado mínimo espesor de aislamiento   | 87  |
| XVII.  | Código de colores   | 93  |
| XVIII. | Ficha de control diario de calderas   | 100 |
| XIX.   | Ficha de control diario de gases  | 101 |
| XX.    | Propuesta de calendarización para mantenimiento de calderas                                 | 117 |
| XXI.   | Ficha de control diario de agua de alimentación   | 121 |
| XXII.  | Ficha de control de mantenimiento de trampas de vapor                                       | 122 |
| XXIII. | Costo de stock para mantenimiento   | 123 |
| XXIV.  | Comparativa de costo de combustible cuatrimestral   | 129 |
| XXV.   | Costos de equipo e instalación de mejoras   | 130 |
| XXVI.  | Incremento potencial de la eficiencia en los sistemas de generación y distribución de vapor | 131 |



## LISTADO DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>                        | <b>Significado</b>                           |
|---------------------------------------|--|
| <b>A</b>                              | Área (pulgadas <sup>2</sup> )                |
|                                       | Cambio de presión (PSI)                      |
| <b>Q</b>                              | Capacidad de flujo (lb/hora)                 |
| <b>Cd</b>                             | Cédula de la tubería                         |
| <b><math>\equiv \Delta f_i</math></b> | Coefficiente de rugosidad (pie/pie)          |
| <b>R</b>                              | Coefficiente para longitud equivalente       |
|                                       | Densidad (lb/pie <sub>3</sub> )              |
| <b>D</b>                              | Diámetro (pulgadas)                          |
| <b>D<sub>i</sub></b>                  | Diámetro interior (pulgadas)                 |
| <b>f</b>                              | Factor de fricción de Fanning                |
| <b>g<sub>c</sub></b>                  | Gravedad (32,174 pie*lbm/lbfs <sup>2</sup> ) |
| <b>L</b>                              | Longitud total de la tubería (pies)          |

**F<sub>f</sub>** Pérdidas por fricción ( $\text{pie} \cdot \text{lb}_f / \text{lb}_m$ )

**w** Peso de vapor ( $\text{lb} / \text{minuto}$ )

Pi ( 3,1415)

**P** Presión de trabajo (psi)

Sumatoria

**V** Velocidad de la corriente de vapor ( $\text{pie} / \text{minuto}$ )

**G** Velocidad másica ( $\text{lb}_m / \text{h} \cdot \text{pie}^2$ )

**μ** Viscosidad absoluta ( $\text{lb}_m / \text{pie} \cdot \text{h}$ )

Volumen específico ( $\text{pie}^3 / \text{lb}_m$ )

## GLOSARIO

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Agua de alimentación</b> | Mezcla de agua fresca y condensado de agua que posteriormente se convertirá en vapor.   |
| <b>ASME</b>                 | <i>American Society of Mechanical Engineers</i><br>(Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.)  |
| <b>ASTM</b>                 | <i>American Society for Testing an Materials</i><br>(Sociedad Americana de Pruebas de Materiales).  |
| <b>Brida</b>                | Anillo que une dos tornillos.   |
| <b>BTU</b>                  | Es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar de 63° a 64°F la temperatura de una libra de agua.  |
| <b>By-pass</b>              | Paso alternativo para el flujo de vapor, utilizado cuando el accesorio está fuera de servicio y no se puede parar la producción.  |
| <b>Caldera</b>              | Actualmente se extiende este término también para el conjunto de equipos auxiliares, que forman el equipo de generación de vapor, a la que mediante el suministro continuo de agua y combustible se obtiene un flujo continuo de vapor. |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Caldera Acuatubular</b> | Equipo de generación de vapor en el que el agua circula dentro de los tubos y gases calientes por el exterior de los mismos.   |
| <b>Caldera Pirotubular</b> | Equipo de generación de vapor en el que los gases calientes provenientes de la combustión circulan dentro de los tubos, los cuales se encuentran rodeados en el exterior por agua. |
| <b>Calidad de vapor</b>    | Se refiere a la fracción de vapor seco que se encuentra dentro del vapor húmedo. La fracción seca va de 0 a 1.   |
| <b>Calor</b>               | Forma de energía que se transfiere a través de una frontera debido a una diferencia de temperaturas.   |
| <b>Calor Latente</b>       | Es la entalpía necesaria para producir un cambio de estado en un líquido o vapor, que se realizan a temperatura constante.   |
| <b>Calor Sensible</b>      | Es la entalpía necesaria para producir un cambio sensible en la temperatura de un líquido o vapor.   |
| <b>Condensado</b>          | Líquido que se forma cuando el vapor se enfría.  |
| <b>Corrosión</b>           | Desgaste presente en la tubería debida, especialmente, a la presencia de ácidos y óxidos.  |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Eficiencia de caldera</b> | Cantidad de energía necesaria para convertir el agua de alimentación en vapor, en relación.                                       |
| <b>Entalpía</b>              | Energía debida a la presión y temperatura de un líquido o un vapor.   |
| <b>Golpe de ariete</b>       | Se produce cuando hay sobrepresión en el interior de la tubería lo cual hace que esta se deforme por la expansión de sus paredes. |
| <b>Isobárico</b>             | Proceso que se realiza básicamente a presión constante.   |
| <b>Isotérmico</b>            | Proceso que se realiza básicamente a temperatura constante.   |
| <b>Poder calorífico</b>      | Cantidad de energía calorífica que puede liberar un combustible mediante su quemado. Expresado en BTU/gal o en KJ/gal.            |
| <b>Presión</b>               | Fuerza aplicada por una unidad de área especificada.  |
| <b>Presión absoluta</b>      | Presión medida desde el cero absoluto. (Nivel del mar) utilizada para fines de vacío.   |
| <b>Presión atmosférica</b>   | Presión debida a la columna de aire, que se encuentra sobre el nivel del suelo.   |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Presión de Saturación</b> | Es la presión a la cual las fases líquidas y vapor se encuentran en equilibrio y cualquier adición o remoción de calor, producirá cambio de estado. |
| <b>P.S.I.</b>                | Medida de presión, libras por pulgada cuadrada.   |
| <b>Purga</b>                 | Pérdida determinada de agua por el sistema de la caldera.   |
| <b>Retorno de Condensado</b> | Línea que transporta el condensado de regreso al tanque de alimentación con el propósito de aprovecharlo y así mismo parte de su calor.             |
| <b>Tablas de vapor</b>       | Tablas que indican los valores numéricos de las propiedades del vapor de agua para diferentes presiones y temperaturas de un estado termodinámico.  |
| <b>Termodinámica</b>         | Ciencia que estudia las relaciones entre los fenómenos mecánicos y caloríficos.   |
| <b>Trampa de vapor</b>       | Válvula automática para el drenado de condensado y gases no condensables de los sistemas de vapor.  |
| <b>Trampeado</b>             | Término utilizado para indicar el drenado de condensado en una línea de vapor serpentín para el calentamiento.                                      |

**Válvulas**

Son aparatos mecánicos, mediante los cuales se puede iniciar o parar el flujo dentro de una tubería.



## RESUMEN

El estudio, análisis y diseño del mejoramiento de la red de distribución de vapor del Hospital Nacional Pedro de Bethancourt, impulsa el desarrollo de este tema, propone la necesidad de mejorar la distribución de vapor y su calidad, ya que en la actualidad de las calderas existentes únicamente está en uso una, debido a que la segunda se encuentra averiada. De esto se resume que, no se le brinda un adecuado mantenimiento a la instalación completa, por lo que de ser posible inmediatamente se debe realizar el mantenimiento a la caldera, pues esta debe de funcionar oportuna e inminente.

Entre las ventajas de implantar mejoras en la red de distribución, se tienen: mejorar el aprovechamiento de la energía, menos desgaste por exceso de fricción en las bridas, juntas de dilatación, válvulas, accesorios y tubería, la reducción del consumo de combustible para la producción de vapor en la caldera, pérdidas mínimas de vapor, venteo de aire , otros gases entre otros.

Otro de los factores importantes es el gasto financiero que puede ser menor al combustible que utiliza la caldera para satisfacer la demanda sobredimensionada de cantidad de vapor, por lo cual se propone la utilización de un manipular vapor sobrecalentado que suministra mayor energía y para ello colocar dentro de la chimenea de gases un serpentín que ceda a la caldera agua precalentada.

El estudio y diseño del sistema de vapor, puede trascender a mejorar las redes de distribución de vapor en los demás hospitales públicos, tomando en cuenta cuáles son las similitudes que existen entre ellos y el uso de esta forma

de energía, así como verificar la necesidad real en los hospitales del requerimiento de vapor en sus instalaciones.

Entre las causas que por lo general, denotan mayor desgaste o falla debido a la falta de mantenimiento son las trampas de vapor, mismas que no recibieron el debido proceso de mantenimiento y asociado a ello, sectores de tubería que no contienen material aislante, provocan en sí la pérdida de energía que actualmente se tiene.

# OBJETIVOS

## General

Determinar mediante un estudio y diseño de mejoramiento la red de distribución de vapor en el Hospital Nacional Pedro de Bethancourt, Antigua Guatemala.

## Específicos

1. Describir los equipos y accesorios que utiliza la red de distribución de vapor.
2. Relacionar las condiciones actuales del servicio que proporciona la red, respecto a su consumo en kg./hr.
3. Hallar las posibles causas del desaprovechamiento y/o fuga de la energía en la red de distribución y diagnosticar acorde a los resultados obtenidos, las causas más comunes de fallas en este tipo de instalaciones después de realizar la evaluación respectiva.
4. Proponer las mejoras que se deben de realizar, con el propósito de comparar el incremento que se puede obtener.

5. Calcular los costos que representa la inversión para la mejora del sistema y demostrar la eficacia del mismo.
6. Mejorar la tasa de servicio en lavandería, cocina y autoclave.
7. Implementar un sistema de control y mejora continua en las actividades del departamento de mantenimiento.

## INTRODUCCIÓN

La idea fundamental del presente trabajo de graduación, es proponer un mejoramiento en la distribución del vapor y aumentar la eficiencia, tanto de la maquinaria como los procesos proponiendo métodos de prevención de fugas.

El vapor es utilizado como una fuente de poder, la cual se puede aprovechar para el calentamiento y también para algunos procesos industriales. Dicho vapor es transportado desde una caldera a través de una red de distribución (sistema de tubos) hasta puntos específicos en donde realiza una labor o trabajo en algún proceso o maquinaria.

El calor constituye una medida de la energía térmica puesta en juego en los fenómenos caloríficos. La importancia radica en la inspección y evaluación del sistema de distribución de vapor, así como los accesorios, no descuidando el mantenimiento preventivo y correctivo de las trampas de vapor para evitar problemas de condensado y en consecuencia costos por fuga de vapor.

Las trampas de vapor son empleadas para funciones de trascendencia, por ejemplo, cuando el sistema de vapor se interrumpe o es baja la calidad del vapor, ingresa aire en las tuberías ocupando espacio del vapor en compañía del condensado generado. Las trampas deben, desalojar ese condensado en el momento de arranque de estos sistemas.

En función de lo expuesto, los primeros dos capítulos describen los antecedentes que muestran un panorama actual del Hospital como del sistema de la red de vapor de forma descriptiva y los principios generales de la

generación de vapor. Así mismo en el tercer capítulo se propone el mejoramiento del sistema partiendo de algunas fichas de control, mantenimientos y solución a algunos problemas que aparecen en dicha red. El cuarto capítulo consiste en la evaluación de posibles mejoras al realizar las mejoras o reparaciones, como algunos costos que pretenden hacer más eficiente la tasa de servicio. Por último, en el quinto capítulo se manifiesta la continuidad y mejora del sistema técnico – humano y un programa de capacitación del personal a cargo.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Antecedentes históricos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social**

Durante el régimen liberal, a fines del siglo XIX y partiendo de la concepción de que el Estado era la única entidad capaz de hacer frente a los problemas de salud, se establecieron las normas de la práctica médica pública que estaban destinadas a la vigilancia de la salud a través de las Juntas de Sanidad, por lo que se estableció un control ejercido por la Policía de Seguridad, el Ejército, Salubridad y Ornato, dándole una dimensión coercitiva a la atención pública de la salud. En 1906 se organizó el Consejo Supremo de Salubridad Pública oficializado por el Código de Sanidad que funcionó hasta 1925, cuando se fundó la Dirección General de Salubridad Pública, la cual cambió de nombre a Dirección General de Sanidad Pública en 1932.

Posteriormente, como parte de las reformas sociales impulsadas a partir de la Revolución de 1944, la Dirección General de Sanidad Pública pasó a formar parte de la nueva Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social, asumiendo funciones benefactoras y reparadoras, además de hacerse cargo de centros hospitalarios y de programas preventivos. La Secretaría de Salud Pública fue luego convertida en Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). Durante esta época también se crearon unidades móviles de salud con acciones en todo el territorio nacional, se inició el funcionamiento de distintas dependencias técnico-normativas en el nivel central, se organizaron delegaciones sanitarias en todos los departamentos del país y se impulsó el programa de dispensarios municipales (1950).

### **1.1.1. Actividades del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social**

El sistema nacional de salud está conformado por dos grandes subsectores, el subsector público incluye 2 partes: 1. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) y, 2. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). El segundo es el subsector privado que se divide en lucrativo, que incluye médicos, hospitales, sanatorios, laboratorios clínicos y farmacias; y no lucrativo que incluye a las ONG's. El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social es la dependencia del poder ejecutivo designada para ejercer la rectoría del sector salud. Es uno de los principales proveedores directos de servicios a toda la población.

Desde 1997 está desarrollando el papel de financiador y regulador de servicios básicos de salud, prestados por ONG's a poblaciones que antes carecían de acceso a cuidados de salud. De acuerdo a su organización se dividen en Direcciones Departamentales de Salud, que conducen una red de servicios de salud integrada por hospitales, centros de salud, puestos de salud y centros de convergencia.

El Código de Salud (Decreto 90-97) establece en su Artículo 9 que: “el MSPAS tiene a su cargo la rectoría del sector salud, entendida ésta como la conducción, regulación, vigilancia, coordinación y evaluación de las acciones e instituciones de salud a nivel nacional. Para cumplir con las funciones anteriores tendrá las más amplias facultades para ejercer todos los actos y establecer todas las medidas que conforme las leyes, reglamentos y demás disposiciones del servicio competen al ejercicio de su función”.

Este código también define las funciones que competen al Ministerio en el ámbito de la salud pública, e incluye actividades tales como la regulación sobre

los programas de atención a las personas, el medio ambiente, productos farmacéuticos y similares, establecimientos de salud y control de alimentos. En el año 2001 el Ministerio de Salud de Guatemala evaluó las once funciones esenciales de salud pública, definidas en el correspondiente instrumento de evaluación del desempeño impulsado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Estas funciones son: monitoreo, evaluación y análisis de la situación de salud, vigilancia de la salud pública e investigación y control de riesgos/daños en la salud pública, promoción de la salud, participación de los ciudadanos en la salud, desarrollo de políticas y capacidad institucional de planificación y gestión en la salud pública, fortalecimiento de la capacidad institucional de regulación y fiscalización en la salud pública, evaluación y promoción del acceso equitativo a los servicios de salud necesarios, desarrollo de recursos humanos y capacitación en salud pública, garantía y mejoramiento de la calidad de servicios de salud individual y colectiva, investigación en salud pública, y reducción del impacto de emergencias y desastres en la salud.

## **1.2. Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt**

### **1.2.1. Historia**

Cuando se realizó la edificación de la Catedral de Guatemala, se pensó en la construcción y mantenimiento de un hospital con el fin de favorecer a los sacerdotes, diáconos y subdiáconos pobres que enfermaran. Por tal motivo, en el año de 1646 el obispo, Doctor Bartolomé González Soltero, dispuso llevar a cabo dicha cimentación.

El obispo falleció y no se volvió a tratar del asunto sino hasta el 6 de octubre de 1654, en que el Cabildo Eclesiástico ordenó iniciar el proyecto del hospital. En mayo de 1663 el hospital ya era una realidad de esa manera comenzaron a llegar los primeros enfermos. Con el terremoto de 1773 la situación cambió completamente ya que el Hospital de San Pedro, como fue llamado, en circunstancias tan aflictivas por el hecho de tener que atender al elemento clerical y a toda clase de personas, el hospital sufrió daños en su edificación, por lo que se pensó trasladarlo a otro lugar; comenzó a funcionar nuevamente el 24 de octubre de 1869, las Hermanas de la Caridad fueron quienes administraron el hospital.

Hoy se conoce este establecimiento como Hospital Nacional Pedro de Bethancourt. Como consecuencia del terremoto de 1976 el edificio que ocupaba el hospital en la ciudad de Antigua Guatemala sufrió daños severos. En 1976 se acomodó en el edificio del hotel Rancho Nimajay ubicado en la misma ciudad, pero nunca llegó a brindar todo lo necesario para garantizar servicios de calidad, por lo que desde 1980 se inició la construcción del moderno edificio ubicado en la aldea de San Felipe de Jesús, en 1993 inició sus funciones con un nuevo sistema de atención médica especializada.

### **1.2.2. Ubicación**

El Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt, integra con los Hospitales Nacionales de Chimaltenango y Escuintla la red hospitalaria de la región V de Salud de Guatemala, pertenecientes al servicio que presta el MSPAS. Desde 1993 se encuentra localizado en la aldea San Felipe de Jesús, al nororiente del departamento de Sacatepéquez, a 42 kilómetros de la ciudad de Guatemala.

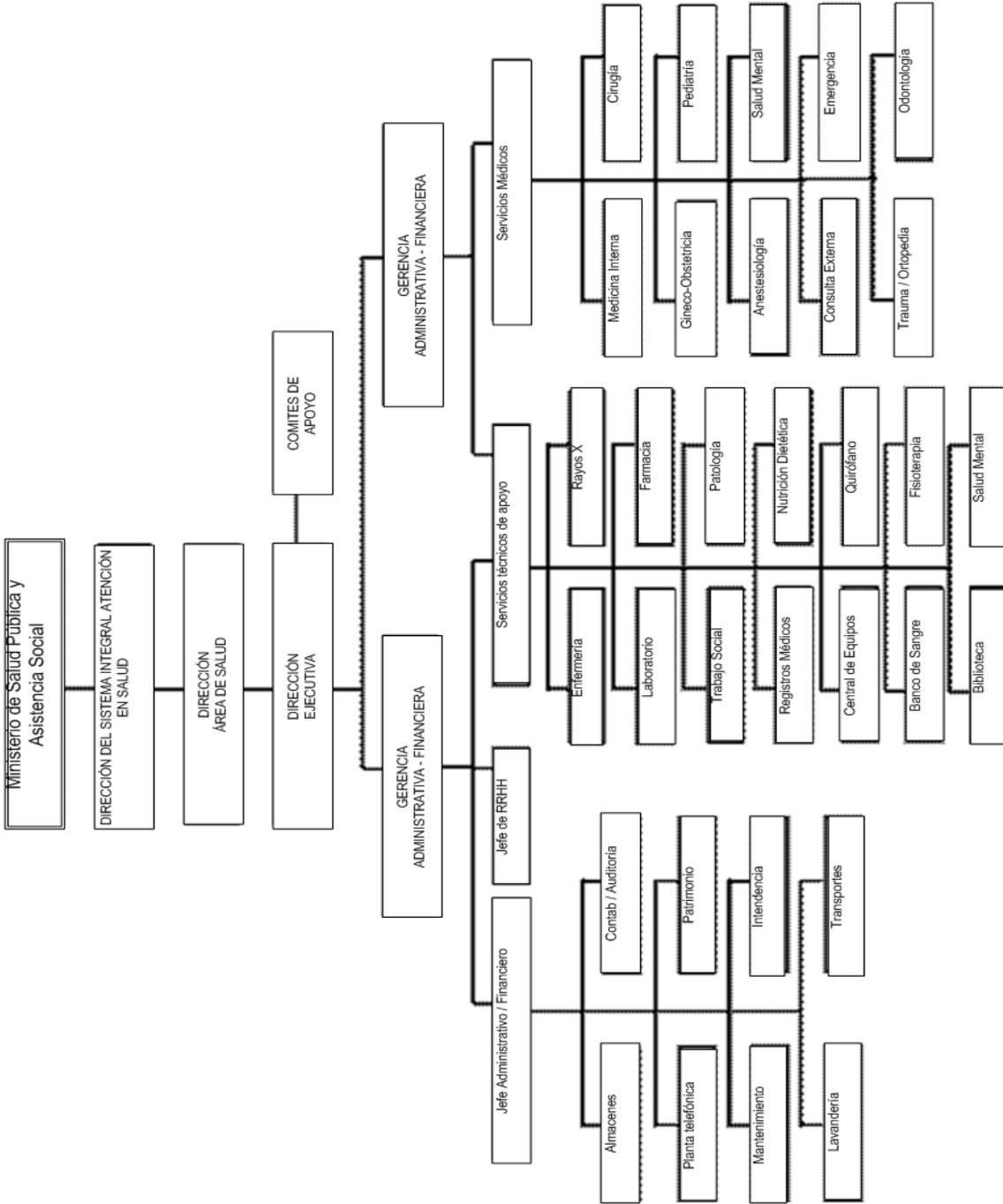
### **1.2.3. Organización**

El Hospital Nacional Pedro de Bethancourt tiene una estructura que se encuentra integrada por la dirección, la subdirección ejecutiva, la gerencia administrativa-financiera, los servicios médicos, administrativos y los técnicos de apoyo. Todos los servicios tienen departamentos a su cargo. En la figura 1 se muestra la estructura organizacional del hospital. También cuenta con comités de apoyo que son integrados por miembros del hospital designados por la dirección ejecutiva, con el propósito de asesorar, coordinar y evaluar las acciones relacionadas con alguna problemática relevante y específica dentro del funcionamiento del hospital.

Se mencionan dos comités de importancia: el comité de infecciones nosocomiales y el comité de desastres. El primero es un organismo de apoyo para la dirección del hospital encargado de prevenir y establecer el control de las infecciones hospitalarias, así como de investigar y reglamentar las medidas pertinentes, divulgar información y capacitar al personal a efecto que las consecuencias de las infecciones no repercuta en la calidad de atención que se brinda a los pacientes. Está integrado por un coordinador, subcoordinador, un representante tanto del cuerpo médico como de enfermería, por cada uno de los departamentos del hospital.

El segundo es un comité que ha diseñado un plan que incluye todos los servicios del hospital, con el fin de optimizar los recursos disponibles y cubrir situaciones tales como desastres naturales y antropogénicos para prestar un servicio oportuno en tales situaciones. Este comité está integrado por un médico coordinador junto con todo el cuerpo de enfermería del hospital.

Figura 1. Organigrama del Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt



Fuente: Hospital Nacional Pedro de Bethancourt, La Antigua Guatemala.

### **1.2.3.1. Visión<sup>1</sup>**

Ser un centro de atención médica que establece un alto estándar de calidad en el campo de la medicina preventiva y curativa de Guatemala.

### **1.2.3.2. Misión<sup>2</sup>**

Es un hospital nacional de la región central, el cuál se dedica a atender población de todas las edades y estratos socioeconómicos, sin distinción de preferencias religiosas, políticas, en prevención, curación y rehabilitación en salud. La atención se efectúa en los servicios, en un ambiente ordenado y limpio, con equipamiento básico y tecnología actualizada, así como sistemas de planeación, ejecución, control y mejora continua de los servicios para asegurar la satisfacción plena del usuario, contribuyendo con nuestro trabajo al desarrollo y progreso del país.

## **1.2. Mantenimiento**

Se puede afirmar que el mantenimiento engloba las operaciones y cuidados necesarios para que los edificios, instalaciones y equipos funcionen adecuadamente, desempeñando correctamente el servicio para el que fueron diseñados.

Hay que subrayar que el mantenimiento busca ante todo, conservar el servicio que suministra cada uno de los equipos, instalaciones y otros elementos; no la conservación física de los mismos, en otras palabras, es más importante el servicio que presta cada elemento que el elemento mismo.

---

<sup>1</sup> Tomado del Plan Estratégico Hospital Nacional Pedro de Bethancourt, La Antigua Guatemala. p. 3

<sup>2</sup> Ibid.

Las anteriores aseveraciones, no son conceptos extraños cuando se hace referencia al mantenimiento hospitalario. El objetivo del mantenimiento hospitalario es prolongar la vida útil, de manera económica favorable, de todos los recursos incluso el ambiente en el que se desarrollan las actividades del hospital; por medio de actividades y procedimientos que buscan evitar el desgaste y destrucción de los bienes puestos al servicio del hospital, hasta la restitución del servicio de algún elemento cuando se presente una anomalía que lo obstaculice.

Dentro de ese margen, se incluyen las actividades tales como limpieza, inspección, pruebas, clasificación, reparación, reconstrucción, recuperación y modificación de equipos, instalaciones e infraestructura y su alcance va desde que se seleccionan y adquieren los equipos hasta ser dados de baja del hospital por estar obsoletos o destruidos o ser puestos en venta.

El mantenimiento dentro de un hospital debe realizarse en concordancia con la misión, la visión, los objetivos y las metas del hospital, también se debe orientar a dar la máxima atención al paciente.

El paciente es la razón fundamental de ser del hospital, por eso es la primera consideración de todo el trabajo de mantenimiento para efectuarlo con seguridad, calidad y eficacia.

Esto permite que los servicios realizados ayuden a la recuperación del paciente en lugar de ser factores que inhiban su recuperación e incluso deterioren el estado en que se encuentre, o que se contagie de enfermedades diferentes a la enfermedad causante de su ingreso que le causen complicaciones o incluso la muerte.

### **1.3.1. Conceptos básicos**

En la actualidad es común separar la connotación de mantenimiento, en mantenimiento preventivo y en mantenimiento correctivo.

El propósito del mantenimiento preventivo es verificar y paros por medio de actividades de inspección rutinarias y la ejecución de rutinas que permitan mantener la correcta operación y servicio de un equipo, instalación o infraestructura.

Algunas actividades propias del mantenimiento preventivo son la limpieza, buen manejo del equipo, inspecciones sistemáticas, control de los indicadores, detección y corrección de fallas antes de que se manifiesten para evitar paros en el servicio. Dentro del mantenimiento preventivo se incluye al mantenimiento programado, que consiste en los cambios de piezas o de accesorios al cumplirse con determinadas cargas o tiempo de servicio.

Estos cambios son estipulados a través de estadísticas que se han tomado durante el desempeño del equipo, por personal de mantenimiento del hospital o como sucede en la mayoría de los casos por especificaciones que dan los fabricantes.

Su utilidad aumenta con la confiabilidad de los equipos y su vida funcional va disminuyendo los costos y los tiempos muertos que se deben a paros provocados por fallas. El mantenimiento programado, además permite proyectar los paros de equipos, lo que permite organizar y planificar por anticipado las medidas necesarias que se deben de tomar para mantener el servicio.

El mantenimiento correctivo es el que se encarga de reparar una falla que provoca un paro súbito en el servicio del equipo y comprende aspectos como:

- Reparación: es la restauración de las condiciones de servicio de un equipo, ya sea por un arreglo o cambio de partes o mecanismos, sin eliminar la fuente de falla.
- Reparación en el sitio de trabajo: se ejecuta con el auxilio de talleres móviles o unidades de mantenimiento propias en el sitio de falla del equipo.
- Recuperación: se logra, restaurando piezas o equipos fuera de uso o restaurando equipos que estén inservibles.
- Modificaciones: alteraciones realizadas al diseño original, que buscan mejorar el rendimiento o la seguridad pero son peligrosas si no se efectúan de una correcta manera y no son recomendables.

Las actividades que conforman cada una de estas divisiones del mantenimiento se llevan a cabo por un conjunto de personas que poseen niveles de conocimiento y criterios diferentes, de acuerdo con la complejidad del trabajo que desempeñan por lo que se hace necesario clasificar al mantenimiento como institucional de taller y de fábrica.

El mantenimiento institucional es el que se encuentra a cargo del propio hospital que ejecuta la operación correcta, inspección de funcionamiento, lubricación y mantenimiento preventivo programado. Consta de dos niveles:

- Usuario: es responsabilidad del operador el uso correcto del equipo, además de realizar inspecciones diarias para verificar cualquier anomalía y el de efectuar pequeños ajustes.
- Técnico del hospital: técnico especializado empleado por el hospital, quien tiene bajo su responsabilidad efectuar el mantenimiento programado, ajustes más especializados y reparaciones o reposiciones de piezas.

Cuando se refiere al mantenimiento de taller, se habla del efectuado por las empresas que son contratadas para tal efecto o porque son empresas autorizadas por los vendedores de los equipos.

Pueden ser móviles cuando trabajan en el sitio de la falla y fijos donde se llevan a cabo actividades más específicas y especializadas, cuenta con la capacidad de brindar capacitación y entrenamiento a técnicos y usuarios para que desempeñen bien su trabajo.

El mantenimiento de fábrica es de nivel más complejo que los anteriores, ya que realiza trabajos de reconstrucción o de modificación que sean solicitados por el hospital a equipos con el fin de obtener mejoras en su servicio haciéndolos más confiables y seguros.

#### **1.4. Jefatura de mantenimiento**

La jefatura de mantenimiento, responsable de velar por el buen funcionamiento de los equipos e instalaciones del hospital así como la operación y supervisión del funcionamiento de equipos especializados como calderas, bombas de agua y equipo de gases médicos.

El hospital cuenta con un departamento de mantenimiento que agrupa sus actividades de la siguiente forma:

- Mantenimiento de instalaciones
- Mantenimiento de equipo industrial
- Mantenimiento de equipo médico.

#### **1.4.1. Actividades**

De manera general, las funciones que desempeña el departamento de mantenimiento dentro del hospital son las que se describen a continuación:

- Planificar y programar el mantenimiento de los equipos e instalaciones.
- Ejecutar el mantenimiento y reparación de infraestructura física, equipo e instalaciones.
- Operación de algunos equipos.
- Ejecución de métodos de supervisión y control que verifiquen el cumplimiento de lo planificado.
- Adiestramiento de los usuarios y operadores del equipo.
- Asesorar técnicamente a la dirección en lo relacionado al mantenimiento y adquisición de equipos.

En el desempeño de las funciones anteriormente descritas, el departamento debe tomar en cuenta los siguientes tres aspectos:

- Aspecto social: contribuir a reducir los costos totales de operación del hospital.
- Aspecto técnico: mantener en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y confiable la infraestructura, equipos e instalaciones del hospital para no interrumpir sus servicios.
- Aspecto humano: el hecho de que se presente una falla en infraestructura, equipos o instalaciones del hospital produzca la pérdida de la vida del paciente o provoque el contagio con otras enfermedades que pueden agravar la situación de salud del mismo, además del costo económico que puede representar.

#### **1.4.2. Organización**

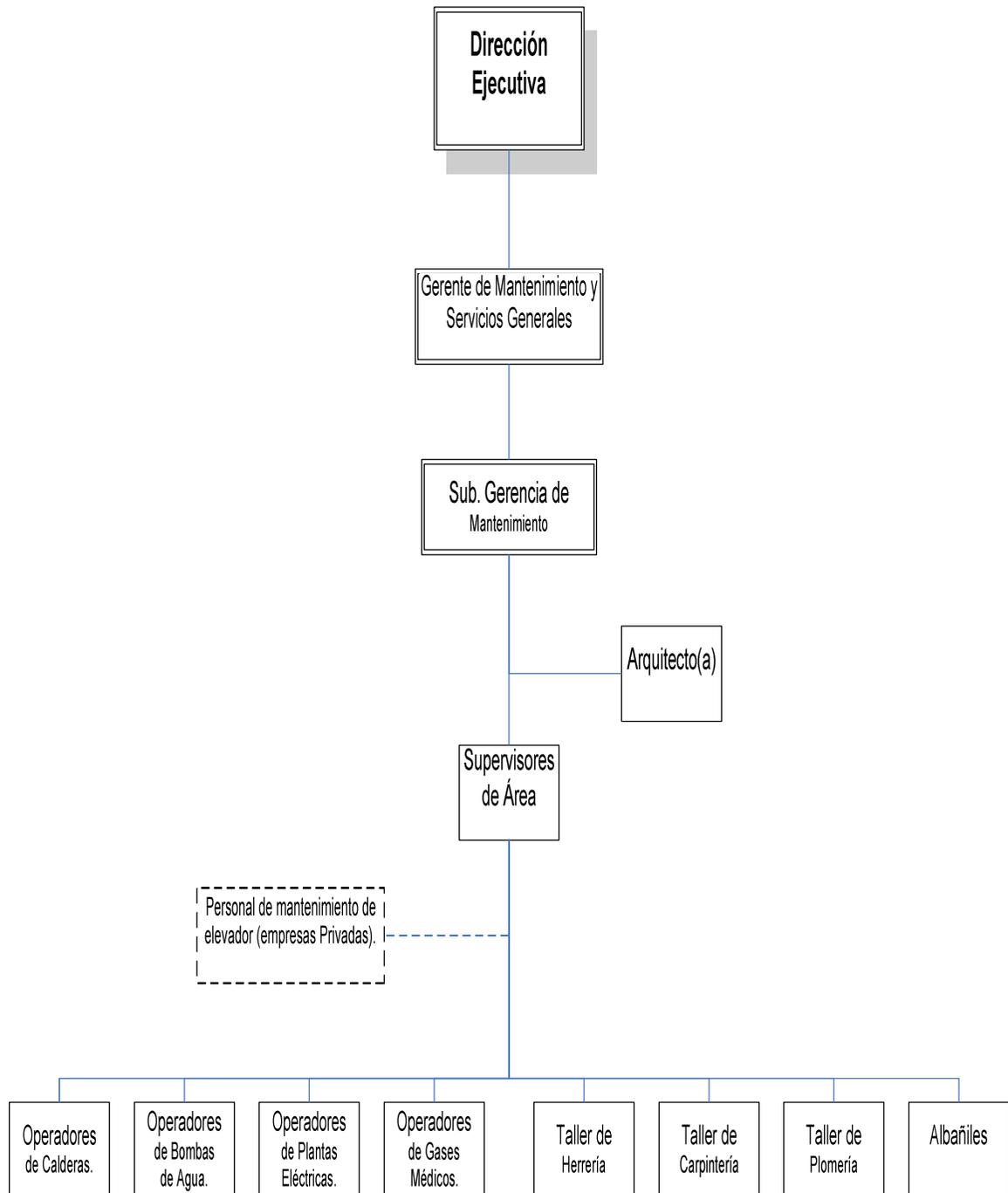
La Dirección del departamento de mantenimiento la tiene a su cargo la Gerencia de Administración Financiera, el Jefe de Mantenimiento y servicios generales tiene a su cargo la administración de personal del departamento, además tiene a su cargo la aprobación de proyectos de infraestructura; el departamento de mantenimiento se divide en operadores de instalaciones y talleres de reparaciones los cuales son:

- Operario de calderas
- Operario de bombas de agua

- Operario de planta eléctrica
- Operario de gases médicos
- Taller de herrería
- Taller de carpintería
- Taller de plomería
- Albañiles

A continuación se presenta en la figura 2, el organigrama que representa la estructura organizacional que se tiene en el Departamento de Mantenimiento.

Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

### **1.4.3. Ubicación de calderas, cocina, lavandería y autoclave**

El área de calderas está ubicada en la planta baja en el ala Este del hospital que se encuentra distribuido en diferentes secciones. Las tuberías se encuentran distribuidas de forma aérea, en tramos cortos, en las áreas de cocina, lavandería y autoclave, optimizando de esta manera el flujo del vapor y por consiguiente minimizando las pérdidas de vapor que las distancias largas generan.

### **1.4.4. Personal**

El personal que labora en el área de mantenimiento está integrado por las personas especializadas en las distintas áreas que requieren de las mismas, lo constituyen 12 individuos que controlan su área y están distribuidos de la siguiente manera.

- Un encargado de mantenimiento. Éste se encarga de supervisar las diferentes áreas y determinar las necesidades y prevenir las fallas de los diferentes artefactos y accesorios.
- Un técnico operario. Se encarga de operar la maquinaria y en algún momento determinado reparar las fallas del equipo a su cargo.
- Dos mecánicos. Tienen como principal objetivo el de reparar el equipo y brindar mantenimiento preventivo.
- Dos albañiles. Tienen a su cargo las reparaciones de la estructura física del inmueble.

- Dos carpinteros. Reparar cualquier daño ocasionado por el uso o el tiempo causado en la madera del inmueble, como puertas, mostradores, etc.
- Dos conserjes. Son los encargados de mantener la limpieza e higiene del hospital.
- Un tornero. En determinado momento se encarga de reparar y crear piezas para el equipo.

#### **1.4.5. Jornada de trabajo**

La jornada de trabajo está comprendida de entre las 7:00 a las 16:00 horas, no puede ser mayor de 8 horas diarias ni de 44 horas a la semana. En el caso de los mecánicos y los conserjes laboran en turnos de 12 horas, uno de día y otro de noche, los cuales tienen la responsabilidad de monitorear y detectar cualquier desperfecto y dar aviso al encargado de mantenimiento.

#### **1.5. Descripción de los elementos de la red de distribución de vapor**

La red de distribución de vapor está constituida de tubería de alta presión, trampas de vapor, juntas de dilatación, válvulas de paso de vapor, manómetros y electroválvulas. Todos los elementos son de gran importancia para el buen funcionamiento de la red de vapor.

##### **1.5.1. Calderas**

En la institución existen dos calderas que son iguales de marca Kewanee Boiler, modelo H3S-250-0, con capacidad de 250 hp, estas calderas trabajan

alternativamente seis meses cada una, al terminar una el lapso de trabajo se desarma y se revisan las partes de esta para cambiar las que estén dañadas, trabajan a una presión de 90 psi y a una temperatura de 350°F

### 1.5.2. Tubería

En la red de distribución de vapor la tubería que se encuentra en las líneas principales es tubo redondo negro cédula 40 hierro sin costura, ya que las casas que fabrican o venden tubería para alta presión en Guatemala lo realizan bajo las normas ASTM, con lo cual para este tipo de cédula venden dos tipos de tubo y sus características se podrán observar en la siguiente tabla:

Tabla I. **Características de tubería cédula 40**

| <b>Material</b>  | <b>Normas de Fabricación</b> | <b>Grado</b> | <b>Resistencia a la tracción en (PSI)</b> | <b>Esfuerzo máximo permisible (PSI) a 650°F</b> |
|------------------|------------------------------|--------------|---|---|
| Acero al carbono | ASTM A53                     | A            | 48 000                                    | 12 000  |
|                  | ASTM A53                     | B            | 60 000                                    | 15 000  |
|                  | ASTM A-106                   | A            | 48 000                                    | 12 000  |
|                  | ASTM A-106                   | B            | 60 000                                    | 15 000  |
|                  | ASTM A-106                   | C            | 70 000                                    | 17 500  |

Fuente: elaboración propia tomada de [www.alaisa.com](http://www.alaisa.com)

### 1.5.3. Juntas de dilatación

En la red de distribución de vapor la dilatación es un fenómeno que no se debe de olvidar ya que la tubería que conforma esta red se encuentra expuesta a elevadas temperaturas por lo cual ésta se dilata, para poder solucionar este problema es necesario la instalación de juntas de dilatación entre la red de vapor para que estas puedan absorber movimientos, liberando así como la deformación en el sistema causada por los cambios térmicos, esfuerzos de carga, choque de bombeo, desgaste o asentamiento. También reduce ruidos mecánicos, aísla la vibración mecánica y compensa el mal alineamiento de la tubería.

Figura 3. Junta de dilatación



Fuente: [www.acordintl.com](http://www.acordintl.com)

### 1.5.4. Válvulas

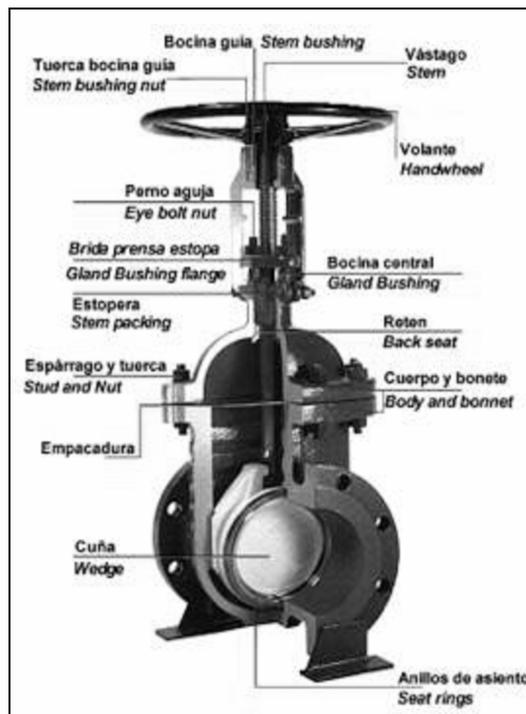
Una válvula se puede definir como un aparato mecánico el cual son instrumentos de control para la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más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

#### 1.5.4.1. Válvulas de compuerta

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

En las válvulas de compuerta el área máxima del flujo es el área del círculo formado por el diámetro nominal de la válvula, debido a esto es que se recomienda el uso en posiciones extremas o sea, completamente abierta o completamente cerrada, ya que de ser así ofrecen la mínima resistencia al paso del fluido y así su caída de presión es muy pequeña.

Figura 4. Válvula de compuerta



Fuente: [www.mct.com](http://www.mct.com)

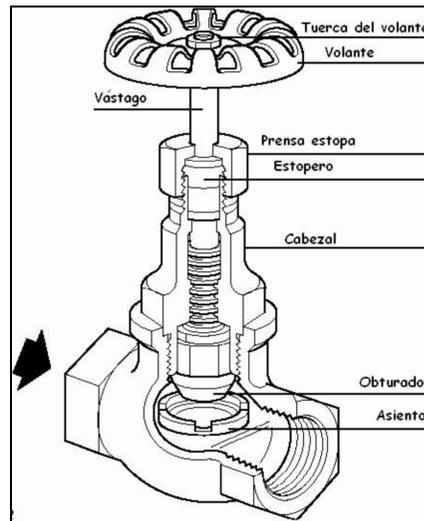
### 1.5.4.2. Válvulas de globo

La principal función de las válvulas de globo es regular el flujo de un fluido, estas válvulas regulan el fluido desde el goteo hasta el sellado hermético.

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

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

Figura 5. **Válvula de globo**



Fuente: *Spirax Sarco*, Manual de mantenimiento, p. 23

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

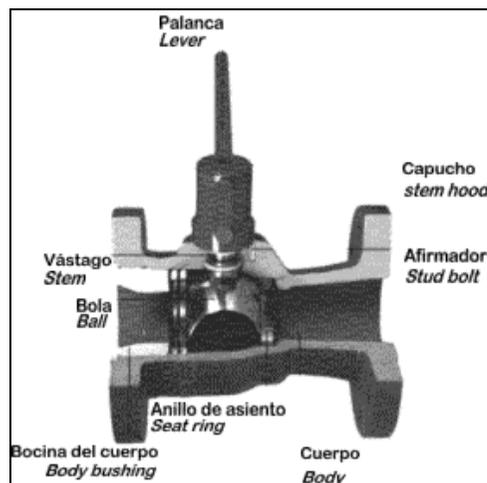
### 1.5.4.3. Válvulas de bola

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

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

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

Figura 6. Válvula de bola



Fuente: [www.fisicanet.com.ar](http://www.fisicanet.com.ar)

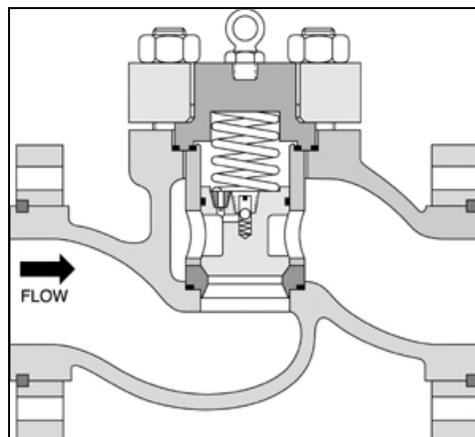
#### 1.5.4.4. Válvulas de retención

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

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

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

Figura 7. **Válvula de cheque**



Fuente: [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com)

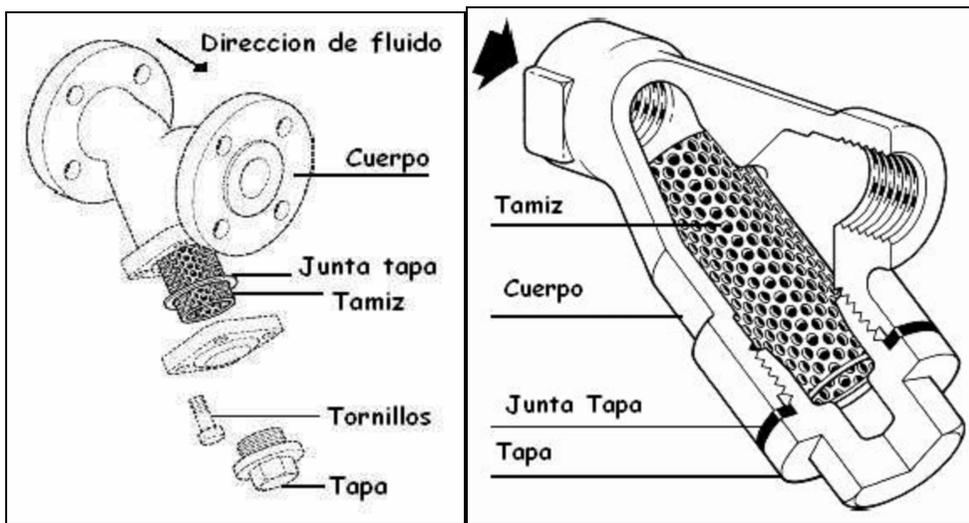
### 1.5.5. Filtros

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

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

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

Figura 8. Filtros de vapor



Fuente: *Sprax Sarco*, Manual de filtros, p. 13

### **1.5.6. Trampas de vapor**

Las trampas de vapor se pueden considerar como un drenaje de todo el condensado que resulta del enfriamiento del vapor al ser utilizado. La función principal de la trampa es descargar el condensado del vapor en una forma automática y segura hacia el drenaje o tubería de condensado y sus otras funciones son:

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

En la red de distribución de vapor del Hospital Nacional Pedro de Bethancourt, se pueden encontrar dos tipos de trampas de vapor diferentes y los cuales son:

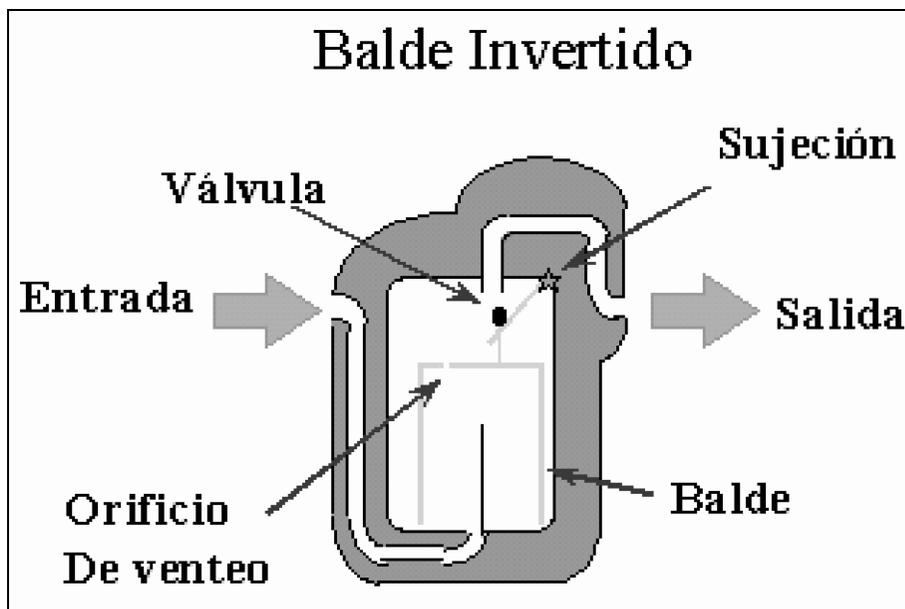
#### **1.5.6.1. Trampa de vapor tipo balde invertido**

Estas trampas mantienen su popularidad desde hace años debido a su menor costo aunque en la mayoría de los casos, son más ineficientes que otras trampas. Siempre consumen un poco de vapor que pasa a través del orificio de venteo. Además se pueden quedar abiertas debido a la caída rápida de presión de entrada, o debido a que están sobredimensionadas para el sistema.

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

A diferencia de otras trampas mecánicas, la de Balde Invertido también ventea continuamente el aire y el bióxido de carbono, a la temperatura del vapor.

Figura 9. Trampa balde invertido



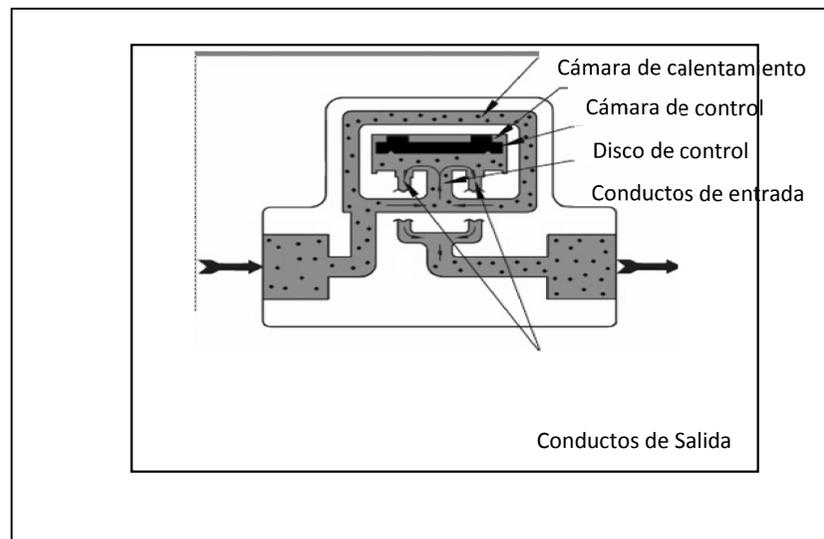
Fuente: [www.steamcontrol.com](http://www.steamcontrol.com)

### 1.5.6.2. Trampa de vapor de disco

Estas trampas funcionan en base a principios de termodinámica y de dinámica de fluidos, por lo cual esta trampa es del tipo termodinámica. Al igual que las trampas mecánicas pueden diferenciar entre líquido y gas, pero no entre vapor, aire y gases no condensables.

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

Figura 10. Trampa termodinámica



Fuente: *ARMSTRONG*, Manual de mantenimiento de trampas de vapor, p. 21

### **1.5.7. Material aislante**

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

Dependiendo del uso, otras propiedades pueden ser consideradas como la resistencia, dureza, densidad, compresibilidad, calor específico y la resistencia a las bajas y altas temperaturas.

Existen muchos materiales aislantes para tubería como: el de 85% de magnesia ligada con fibra de vidrio, la fibra de vidrio, el silicato de calcio y varias formas de tierras diatomácea.

### **1.6. Vapor es energía**

El vapor es la mejor forma de transferir calor a temperatura constante. Comúnmente el uso del vapor en hoteles, hospitales, industrias y universidades, entre otros.

Los rangos de consumo de vapor en la lavandería, central de equipos y cocina pueden estar arriba de las 300 lb/hr cuando todas las selladoras están trabajando. Típicamente la planta opera con vapor a una presión de 100 psi.

Los equipos para cocinar, tales como las vaporeras, pueden necesitar arriba de las 25 psi de vapor. Esterilizadores de loza así como la preparación de la comida y el lavado utilizan vapor de bajo nivel.

Los baños no pueden utilizar vapor directamente sin embargo, se emplean intercambiadores de calor que utilizan vapor para generar agua tibia.

El incremento potencial en eficiencia que puede ser alcanzado al aplicar algunas medidas de eficiencia energética en las diferentes áreas específicas de generación, operación y mantenimiento y distribución. Generalmente, la mayor parte de las mejoras están después de la generación de vapor, esto es en la operación y mantenimiento y en el sistema de distribución.

En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando inadecuadamente y por lo tanto, es donde se tienen pérdidas de vapor por lo que son estas áreas las que nos ofrecen oportunidades de recuperar calor a través del uso de condensadores, trampas de vapor, retorno de condensados e intercambiadores de calor.

Cuidar el sistema de distribución de vapor nos da una las mejores oportunidades de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña o casi nula. Dar entrenamiento cuidadosamente completo y a la vez apropiado al equipo de mantenimiento siempre será una buena inversión.

### **1.6.1. Características del vapor**

El vapor normalmente se encuentra en estado líquido o sólido, como por ejemplo agua, benceno o yodo. Se ha propuesto restringir el uso del término a las sustancias gaseosas que se encuentren por debajo de su punto crítico (la máxima temperatura a la que se puede licuar aplicando una presión suficiente) y hablar de gas por encima de la temperatura crítica, cuando es imposible que la sustancia exista en estado líquido o sólido.

Esencialmente el uso de los términos es arbitrario, porque todas las sustancias gaseosas tienen un comportamiento similar por debajo y por encima del punto crítico. Al aumentar la temperatura de la sustancia, la presión de vapor se eleva, como resultado de una mayor evaporación. Cuando se calienta un líquido hasta la temperatura en la que la presión de vapor se hace igual a la presión total que existe sobre el líquido se produce la ebullición.

En el punto de ebullición, al que corresponde una única presión para cada temperatura, el vapor en equilibrio con el líquido se conoce como vapor saturado; es el caso, por ejemplo, del vapor de agua a 100 °C y a una presión de 1 atmósfera. El vapor a una temperatura superior al punto de ebullición se denomina vapor sobrecalentado, y se condensa parcialmente si se disminuye la temperatura a presión constante.

A temperaturas y presiones normales, la presión de vapor de los sólidos es pequeña y suele ser despreciable. Sin embargo, la presencia de vapor de agua sobre el hielo demuestra su existencia. Incluso en los metales, la presión de vapor puede ser importante a temperatura elevada y presión reducida.

Si las características del vapor son menos que óptimas, disminuye la eficiencia en la transferencia del calor y por lo tanto falla el proceso de producción. La pureza del vapor, la saturación y la disponibilidad del vapor son importantes variables del proceso.

Otras impurezas que puede contener el vapor incluyen óxido, sarro producido por la dureza del agua entre otros. Existen opiniones diversas si estas influyen en forma significativa en el resultado de la esterilización. Se sabe que estas impurezas pueden oxidar el instrumental.

El vapor puro no contiene gases, ni agua en forma líquida, ni tampoco partículas sólidas u otros contaminantes. Estos gases pueden condensarse y pueden estar compuestos por dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno o en combinación pueden formar aire. Desde el punto de vista de la esterilización, estos gases y el aire representan un problema de impureza importante.

Otro aspecto importante en la pureza del vapor es la calidad del vapor o saturación. Esto se refiere a la cantidad de humedad en el vapor. La calidad del vapor es medida en términos de presencia de agua como mezcla sobresaturada versus el vapor seco o sobrecalentado.

Los estándares actuales sugieren una calidad de vapor mayor a 97%, esto quiere decir que el vapor debe contener menos de un 3% de agua líquida. Si la presión del vapor es muy alta con respecto a la temperatura, emana un vapor sobresaturado, esta calidad de vapor produce "carga mojada". El vapor sobresaturado puede resultar por la llegada de vapor sobresaturado al esterilizador o también puede producirse localmente dentro de la cámara cuando el vapor entra en contacto con la carga fría.

Si al vapor saturado que es el vapor en equilibrio entre la presión y temperatura que resulta en un porcentaje correcto de humedad, se le disminuye considerablemente la presión manteniendo la temperatura, se transforma en vapor sobrecalentado.

Si al vapor saturado en un 100%, se le agrega más calor, la temperatura aumenta en cambio la presión casi no se modifica. Esto se debe a que no existe líquido que se pueda vaporizar y de esta forma aumentar la presión. Se necesita muy poca energía calórica para aumentar la temperatura del vapor cuando no hay líquido presente.

Al vapor que se encuentra a una temperatura mayor que el vapor saturado, se le llama sobrecalentado, debido a que este vapor no es capaz de condensarse. El vapor sobrecalentado no es capaz de transmitir la energía calórica que normalmente están más fríos, a pesar que su temperatura actual es mayor que la del ciclo de esterilización. También interfiere con la hidratación de los microorganismos, condición necesaria para su destrucción.

### **1.6.2. Clasificación del vapor**

El uso de vapor como fluido termodinámico se justifica por gran variedad de propiedades, en particular:

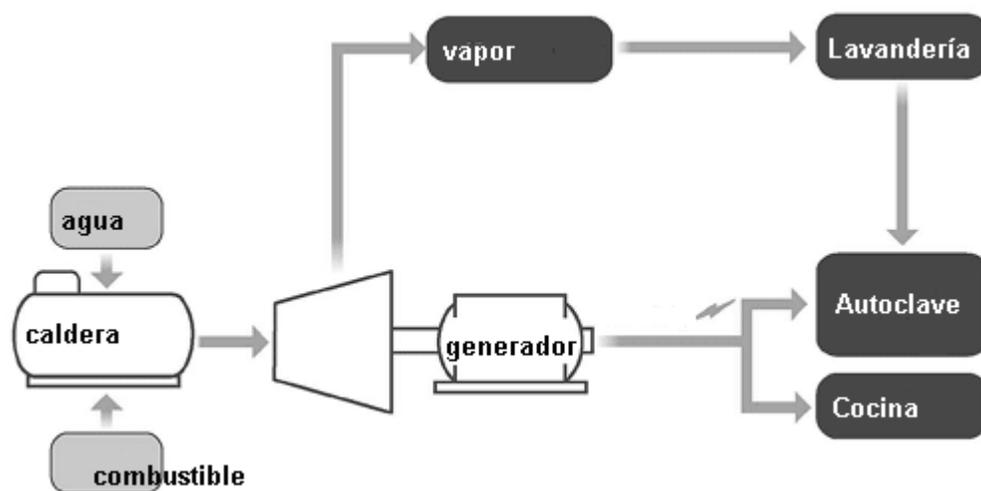
- Es abundante y barato de producir
- Transporta gran cantidad de energía por unidad de masa debido al cambio de fase. En efecto, el calor latente de cambio de fase es del orden de 2 500 [kJ/kg].

El vapor se divide en ciclos abiertos y cerrados. El ciclo opera en un depósito que contiene agua para la caldera. La bomba toma el agua del depósito y la inyecta a la caldera, aumentando su presión desde la presión atmosférica hasta la presión de la caldera.

El motor descarga el vapor utilizado al ambiente que está a 1 atm. Por lo tanto el vapor condensa a 100°C. El agua del depósito es líquido subsaturado. La bomba aumenta su presión hasta siguiente estado, como lo que se comprime es solo líquido, el volumen es ligeramente inferior al estado inicial, luego esta agua a presión se inyecta en la caldera.

Allí alcanza primero el estado de saturación y luego comienza la ebullición dentro de la caldera. El vapor sale de la caldera como vapor saturado. Luego se expande en la máquina (motor) generando trabajo y es expulsado al *manifol*, posteriormente a las tuberías. A continuación se presenta un diagrama de un sistema de vapor.

Figura 11. Diagrama de un sistema de vapor



Fuente: SEVERNS, W. H. Producción de energía mediante el vapor de agua, p. 73

### 1.7. Trampa de vapor

Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, su función principal consiste en drenar el condensado que se forma de la condensación del vapor en sistemas de calentamiento, sin permitir la fuga de vapor, para así asegurar que la temperatura deseada del proceso no varíe. Adicionalmente una buena trampa debe de ser capaz de descargar el aire y gases no condensables atrapados en el sistema.

Las trampas de vapor son de mucha importancia, uno de sus atributos es el de economizar grandes cantidades del combustible requerido para calentar

las inmensas cantidades de agua lo que conlleva a un ahorro en los costos de operación.

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 hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor.

### **1.7.1. Clasificación de trampas de vapor**

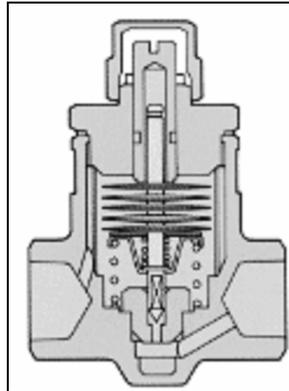
Luego de tener clara la definición y función de trampa de vapor, se analiza los diferentes grupos existentes:

- Termostático
- Mecánica
- Termodinámico

#### **1.7.1.1. Termostático**

Estas trampas operan mediante un sensor de temperatura, el que identifica la temperatura del vapor y del condensado. Como el vapor se condensa adquiere una temperatura menor a la del vapor, cuando esta temperatura del condensado llega a un valor específico, la trampa abrirá para drenar el condensado. Entre algunas de este tipo se tiene:

Figura 12. **Trampa termostática**



Fuente: [www.armstrong-intl.com/products/traps](http://www.armstrong-intl.com/products/traps)

- **Trampa de presión balanceada**

Este tipo de trampa posee un termostato que en su interior está lleno de una mezcla de alcohol que siente la temperatura del condensado y el vapor. Cuando el cuerpo de la trampa está lleno de condensado, la mezcla está a una temperatura baja en comparación con el vapor, debido a esto el alcohol no ejerce presión dentro del tubo corrugado en el que se encuentra, dejando salir el condensado a través por el canal de salida.

Al entrar el vapor entra al cuerpo de la trampa es tal la temperatura de éste que la mezcla de alcohol comienza a hervir, causando un aumento en la presión del interior del elemento. Esta presión es superior a la que se encuentra en el cuerpo de la trampa con lo que tendremos una expansión del elemento termostático causando el cierre de la válvula.

Una vez que la válvula ha cerrado, el vapor no puede escapar; entonces este vapor nuevamente se condensará y también se enfriará, con lo que también enfriará la mezcla de alcohol en el elemento. Con esto la presión del elemento disminuirá causando que la válvula se abra, descargando el

condensado. Como se ha determinado cuando mayor es la presión ejercida por el vapor, mayor será la presión en el elemento termostático que cause el cierre.

Las trampas termostáticas de presión balanceada son de pequeño tamaño con una gran capacidad de descarga. Además, para variaciones de presión se ajusta automáticamente dentro del rango de trabajo para el que se halla elegido. En la mayoría de este tipo de trampas no se puede trabajar con vapor sobrecalentado debido a que el exceso en la temperatura en el interior del elemento origina una presión tan alta que no puede ser balanceada por la presión a su alrededor.

- **Trampa tipo bimetalico**

El funcionamiento de esta trampa es simple al igual que las anteriores pero antes de entrar en lo que es el funcionamiento tal de la trampa que se llama bimetálica. El llamado bimetálica es la unión de dos láminas delgadas de metales distintos los que al haber una variación de temperatura se dilatan cantidades distintas.

El funcionamiento de las trampas bimetalicas es el siguiente: la trampa está abierta en su totalidad en el arranque, donde descargará el aire y el condensado que se encuentre al interior del cuerpo ya que la temperatura de éste es menor que la del condensado.

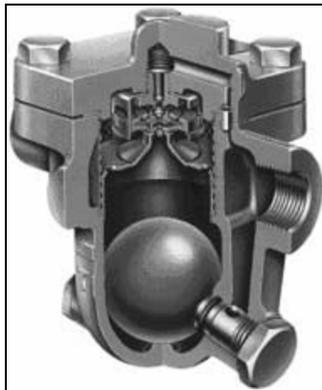
Al empezar a venir vapor, la placa bimetalica, donde uno de sus extremos permanece fija y al otro se le une una válvula, reaccionará al cambio de temperatura, dilatándose para así cerrar el orificio de salida por medio de la válvula.

Por otro lado, la presión de vapor dentro de la trampa actúa para mantener cerrada la válvula por lo que para que el bimetal regrese a su posición de descarga es necesario que el condensado se enfríe considerablemente, lo que a fin de cuentas es una reacción lenta frente a los cambios de temperatura. Estas trampas son ligeras, de pequeños tamaños, y con gran capacidad de descarga. Además son resistentes a fluidos corrosivos, presiones de vapor elevadas y vapor sobrecalentado.

#### **1.7.1.2. Mecánica**

Las trampas de vapor del tipo mecánico trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas trabajan mediante un flotador, el cual hace de válvula en la que, cuando se acumula condensado ésta se abre descargándolo. Cuando está cerrada, comienza nuevamente el ciclo llenándose de vapor para luego comenzar nuevamente. Entre las trampas de este tipo se tiene:

Figura 13. **Trampa mecánica**



Fuente: [www.armstrong-intl.com/products/traps](http://www.armstrong-intl.com/products/traps)

- **Trampa de flotador libre**

Este tipo de trampa consta de una esfera hueca (flotador), en la que al ingresar el flujo de vapor, ésta se mantiene apoyada en un asiento. Cuando el vapor comienza a condensar, el nivel de agua hace subir a la esfera dejando libre el orificio de drenaje.

Una vez que el condensado disminuye, la esfera, que hace de válvula, retorna paulatinamente a su posición (en el asiento), tapando el orificio de salida causando así la mínima pérdida de vapor. Luego, el nuevo ciclo hará lo mismo así que entonces el drenado es continuo.

Debido a que estas trampas no poseen partes mecánicas es muy poco probable que falle, lo que nos dice que el mantenimiento es prácticamente cero.

De las figuras se puede apreciar que la esfera flotadora es bastante grande en comparación con el orificio de drenaje, lo cual hace que sea difícil tener un buen asiento.

- **Trampa de flotador y palanca**

Este es un tipo muy parecido al mencionado anteriormente, donde entra el vapor al cuerpo de la trampa y al comenzar a condensar hace subir una esfera flotante; la diferencia con el anterior es que ahora la esfera está conectada a una palanca, la que a su vez está conectada con la válvula de salida o drenaje.

Cuando el nivel del condensado empieza a subir también lo hace la válvula de salida, la que gradualmente descargará el condensado. Al igual que la trampa de flotador libre ésta mantiene una descarga continua del

condensado. Una vez terminada la descarga, el flotador baja y nuevamente se acomoda sobre un asiento, impidiendo así el escape del vapor.

Uno de los inconvenientes de la trampa de flotador y palanca, al igual que la trampa de flotador libre es que en ambas el aire que se mantiene dentro de la trampa no puede salir por la válvula de drenaje, por esto a veces se instala una válvula de escape del aire y gases no condensables en la parte superior de la trampa.

Entre algunas ventajas de este tipo de trampa se tiene que el drenado puede ir del mínimo al máximo de condensado con igual eficiencia sin verse afectado por los grandes cambios de presión. Existe una variedad de esta trampa en vez de llevar una válvula manual que descargue el aire y gas no condensable.

Posee una válvula automática (eliminador termostático de aire), la cual posee un elemento termostático que se dilata o contrae según la temperatura del fluido; se dilata y cierra el orificio de salida cuando el vapor llega, y se contrae y abre una vez que se ha producido el condensado. Luego cuando tenga aire nuevamente, éste se irá a la parte superior y automáticamente se descargará.

- **Trampa de balde**

A diferencia de las trampas de flotador y palanca, este tipo de trampa no posee la esfera flotadora, sino que es un balde el que hace de válvula. Este tipo de trampa tiene 2 variantes que son:

- **Trampa de balde abierta**

Se llama así ya que el tipo de balde está dentro del cuerpo de la trampa, con su parte abierta hacia arriba. Este balde flotará con el condensado cuando permanezca vacío pero caerá por su peso cuando esté lleno de condensado.

Una vez que entra el flujo de condensado, éste poco a poco irá llenando el espacio bajo el balde, con esto el balde comenzará a subir y la válvula se cerrará. Como aumenta el nivel de condensado éste comenzará a llenar el interior del balde, que debido al peso, tenderá a bajar abriendo la válvula. Así mismo la presión ejercida por el vapor empujará el condensado por la guía de la varilla de la válvula, descargando el condensado hasta que nuevamente el balde pueda flotar.

Este es un tipo de trampa que no genera mayores problemas de mantenimiento debido a que posee un mecanismo simple pero a causa de que posee un ciclo intermitente de descarga es más probable que sufra los efectos de la corrosión.

Además como no posee un sistema de descarga de aire y gases no condensables, solo puede hacerse manualmente o bien con un sistema termostático. Estas trampas son pesadas y de gran tamaño en relación con su capacidad de descarga, esto es debido a que por el hecho de trabajar en función de la presión ejercida sobre el agua dependen de la sección que posea el balde.

- **Trampa de balde invertido**

Como su nombre lo dice, este tipo de trampa posee en su interior un balde cuya abertura está hacia abajo o sea de balde invertido. El sistema de funcionamiento resulta simple. El vapor que entra mantiene al balde flotando, si se puede decir así y mientras flote, éste mantendrá cerrada la válvula de salida.

Cuando comienza a condensar el interior de la trampa se va llenando del condensado, éste mandará al fondo al balde, causando que la válvula se abra lo que junto con la presión ejercida por el vapor dentro del balde descargara el exceso de condensado.

El orificio de escape de aire, es pequeño lo que hace que el aire salga lentamente, tampoco puede ser grande porque ocasionará pérdidas de vapor. Por este motivo es que puede ser una desventaja ya que al mantener mayor tiempo el aire, corroerá la trampa. En este tipo de trampa como en el de balde abierto, se debe mantener condensado en el fondo, ya que éste hace de sello. Si este sello se pierde podría ser a causa de una pérdida de presión del vapor, ocasionará el paso del vapor libremente por la válvula.

### **1.7.1.3. Termodinámica**

Este tipo de trampas de vapor opera con el principio de diferencia entre flujo de vapor sobre la superficie comparado con el flujo del condensado. Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula se cierra, y éste disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado.

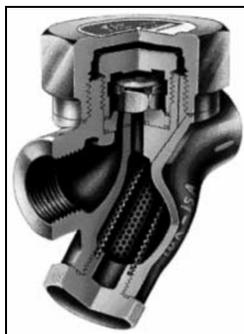
Su funcionamiento es relativamente simple, ya que en su interior solo poseen una sola pieza en movimiento un disco flotante. Al inicio la presión del condensado y el aire levanta el disco de su asiento. La descarga prosigue hasta que el condensado se acerca a la temperatura del vapor.

Un chorro de vapor flash reduce la presión debajo del disco y al mismo tiempo por recompresión origina presión en la cámara de control encima del disco, esto empuja a este último contra su asiento, asegurando un cierre perfecto sin pérdida de vapor.

Luego, al acumularse condensado se reduce el calor en la cámara de control, conforme se va condensando el vapor bloqueado en la cámara la presión se reduce. El disco es levantado por la presión de entrada y se descarga el condensado.

Estas trampas tienen una gran cantidad de descarga en comparación con su tamaño, ya que son ligeras, simples y compactas. Además debido a que la única parte en movimiento es el disco permite que el mantenimiento sea más fácil.

Figura 14. **Trampa termodinámica**



Fuente: [www.armstrong-intl.com/products/traps](http://www.armstrong-intl.com/products/traps)

## **1.7.2. Importancia de las trampas de vapor**

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor. Sus importantes funciones se describen a continuación:

- Eliminación de condensado: 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.
- Eliminación de aire y otros gases no condensables: 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> causa corrosión.
- Prevención de pérdidas de vapor: no deben permitir el paso de vapor sino hasta que éste ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

## **1.7.3. Mantenimiento de las trampas de vapor**

En el mantenimiento de las trampas se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

### **1.7.3.1. Fuga de gas**

La medida de ultrasonidos es el método más utilizado actualmente para la localización de fugas internas de gases a través de válvulas. El paso de un gas a través de un orificio genera un ultrasonido cuya frecuencia e intensidad están

relacionadas fundamentalmente con la presión y temperatura del gas, la densidad del gas, la velocidad de paso del gas a través del orificio y la geometría del orificio.

La presencia de ultrasonido en una válvula en posición cerrada significa claramente la existencia de una fisura a través de la cual se produce una fuga interna o externa de gas. Ahora bien, es prácticamente imposible determinar la magnitud de la fuga a partir de la medida de ultrasonido ya que ello depende de la geometría de la válvula, la geometría de la fisura y las variables termodinámicas del gas. En todo caso la correlación entre ultrasonido y tamaño de fuga tendría que establecerse para cada válvula y en cada caso.

#### **1.7.3.2. Fuga de vapor**

La aplicación del método de medida de ultrasonidos ha experimentado un gran auge en el mantenimiento predictivo de trampas de vapor.

El purgador normalmente descarga a temperatura próxima a la ebullición. Durante este proceso el condensado sufre una expansión que produce un cambio de fase líquido-vapor. La fase gaseosa (vapor de expansión) fluye a elevada velocidad generando un cierto nivel de ultrasonido.

La frecuencia e intensidad depende del salto de presión a través de la trampa de vapor (presión diferencial) y el grado de enfriamiento que sufre el condensado antes de ser evacuado por la trampa. Sin embargo la presencia de ultrasonido en este caso no, significa la existencia de fuga de vapor vivo a través de la trampa.

Un serio problema adicional se presenta en líneas de baja presión (3.5 bar) en instalaciones con miles de trampas de vapor descargando a un colector general de retorno de condensados. En este caso, la formación de vapor de expansión presuriza localmente la línea de retorno disminuyendo la presión diferencial en la trampa. Este efecto es muy fuerte cuando además se superponen fugas de vapor a través de algunos purgadores, generalmente es muy frecuente.

En condiciones de fuerte contrapresión local la velocidad de paso del vapor a través de la trampa de vapor, aún en caso de fuga interna, no es suficientemente elevada para producir el nivel de ultrasonido que permita identificar dicha fuga. En resumen, la fiabilidad del método de medida de ultrasonido en el mantenimiento predictivo disminuye a medida que aumenta el número de trampas de una instalación. Los principales fallos del método son dos:

- Aparentes fugas de vapor vivo, inexistentes, ya que en realidad es vapor de expansión.
- Fugas reales de vapor vivo no detectadas, enmascaradas por elevada contrapresión.

#### **1.7.4. Criterios de seguridad para trampas de vapor**

Los diferentes requerimientos de cada aplicación, ya sea a presión de vapor constante o variable, determinan que tipo de trampa debe especificarse. Factores que deben considerarse en la selección incluyen la capacidad para lidiar con aire a presiones diferenciales bajas, para conservar energía y para remover basuras y bloqueos de condensado acumulado.

Existen tres métodos estándar de selección que ayudan a determinar el tipo y tamaño apropiado para las trampas y el factor de seguridad.

- Presión constante de vapor: Usar un factor de seguridad de 2 a la presión diferencial de operación.
  
- Presión variable del vapor
  - Vapor de 0 a 1 bar: Factor de seguridad de 2 a una presión diferencial de 0,1 bar.
  
  - Vapor de 1 a 2 bar: Factor de seguridad de 2 a una presión diferencial de 0,2 bar.
  
  - Vapor arriba de 2 bares: Factor de seguridad de 3 a la mitad de la máxima presión diferencial a través de la trampa.
  
- Para presión de vapor constante o variable con drenaje de sifón: Un controlador automático diferencial de condensado debe usarse con un factor de seguridad de 3.

Con presión constante de vapor aplíquese el factor de seguridad a la presión diferencial total. Con presión variable de vapor, aplíquese el factor de seguridad a la mitad de la máxima presión diferencial.

Los valores de factor de seguridad recomendados aseguran una operación sin problemas bajo condiciones cambiantes. En la siguiente página se presenta la tabla con el factor de seguridad de las trampas.

**Tabla II. Selección de trampas y factores de seguridad**

| Aplicación  | 1ra. Opción                    | 2da. Opción                        | Factor de seguridad  |
|---|--------------------------------|------------------------------------|--|
| Cabezal de la caldera (Sobrecalentado)  | IBLV                           | F&T                                | 1,5  |
|   | IBCV – Pulido                  | Water                              | Carga de Arranque  |
| Tuberías principales de vapor & Ramales de las tuberías (sin congelamiento)<br>(Congelamiento)  | IB<br>(CV si la presión varía) | F&T                                | 2, si estaría la final de la tubería, antes de la válvula, o en un ramal                                       |
|   | IB                             | Termostática o disco               | (Mismo que arriba)   |
| Separador de vapor<br>Calidad del vapor del 90% o menos   | IBLV                           | DC                                 | 3  |
|   | CD                             |                                    | 3  |
| Venas de vapor  | IB                             | Termostática o disco               | 2  |
| Unidades de calentamiento y de manejo de aire (presión constante)                               | IBLV                           | F&T                                | 3  |
|   | F&T                            | IBLV                               | 2, A presión diferencial de 0,034 bar  |
|   | F&T                            | IBLV                               | 2, A presión diferencial de 0,14 bar   |
|   | F&T                            | IBLV                               | 3, a la mitad de la máxima presión diferencial   |
| Radiadores aletados & Tubos serpentín (presión constante)                                       | IB                             | Termostática                       | 2, normalmente;<br>3, para calentamiento rápido  |
|   | F&T                            | IB                                 | 2, normalmente;<br>3, para calentamiento rápido  |
| Calentadores de aire de proceso (presión constante)   | IB                             | F&T                                | 2  |
|   | F&T                            | IBL                                | 3, a la mitad de la máxima presión diferencial   |
| Máquina de absorción de vapor (Enfriador)   | F&T                            | IB, con venteador externo          | 2, a presión diferencial de 0,034 bar  |
| Intercambiadores de calor de tubo y coraza & serpentines de tubo estampados (presión constante) | IB                             | DC o F&T                           | 2  |
|   | F&T                            | DC o IBT<br>(IBLV, a más de 2 bar) | Menor de 1 bar: 2, a 0,34 bar,<br>1-2 bar: 2, a 0,14 bar mayor 2 bar: 3, a la mitad máxima presión diferencial |
| Evaporadores de un paso y de pasos múltiples  | DC                             | IBLV o F&T                         | 3, con cargas de 22 700 kg/hr  |
| Ollas con camida de vapor (drenado por gravedad)<br>(drenado por sifón)                         | IBLV                           | F&T o Termostática                 | 3  |
|   | DC                             | IBLV                               | 3  |
| Secadoras rotatorias  | DC                             | IBLV                               | 3, para DC;<br>8, para IB a presión constante;<br>10, para IB presión variable                                 |
| Tanques de flasheo  | IBLV                           | DC o F&T                           | 3  |

IBLV = Balde invertido con venteador grande  
 IBCV = Balde invertido con válvula *check* interna  
 IBT = Balde invertido con venteador térmico  
 F&T = Flotador y termostática  
 DC = Controlador diferencial de condensado

Fuente: [www.armstrong\\_intl.com/products/traps](http://www.armstrong_intl.com/products/traps)



## **2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

En el presente capítulo se presenta el diagnóstico y análisis del sistema actual de la red de vapor y trampas de vapor del Hospital Nacional Pedro de Bethancourt y se determina que partes y que accesorios se encuentran en mal estado además de las que están trabajando de forma correcta.

### **2.1. Situación actual de la red de distribución de vapor**

El diagnóstico y análisis del sistema actual del Hospital está basado en la observación de la red de vapor como lo constituyen trampas de vapor, bridas, llaves de paso, aislamientos, purgas, etc., de esta manera se determina cuales son los accesorios que se encuentran en mal estado y un porcentaje de los que operan correctamente.

Los accesorios que actualmente se encuentran en funcionamiento fueron instalados alrededor de hace 20 años, por lo que es muy probable que la mayoría de éstas actualmente no estén funcionando correctamente.

### **2.2. Descripción general de las instalaciones del hospital**

El brindar mantenimiento al sistema de distribución de vapor provee mejores oportunidades de ahorro. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y la revisión de la existencia de fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión. Brindar capacitación apropiada al equipo de mantenimiento siempre será una buena inversión. El sistema actual

del hospital no funciona de forma adecuada en un 100% ya que existen pequeñas averías, entre ellas:

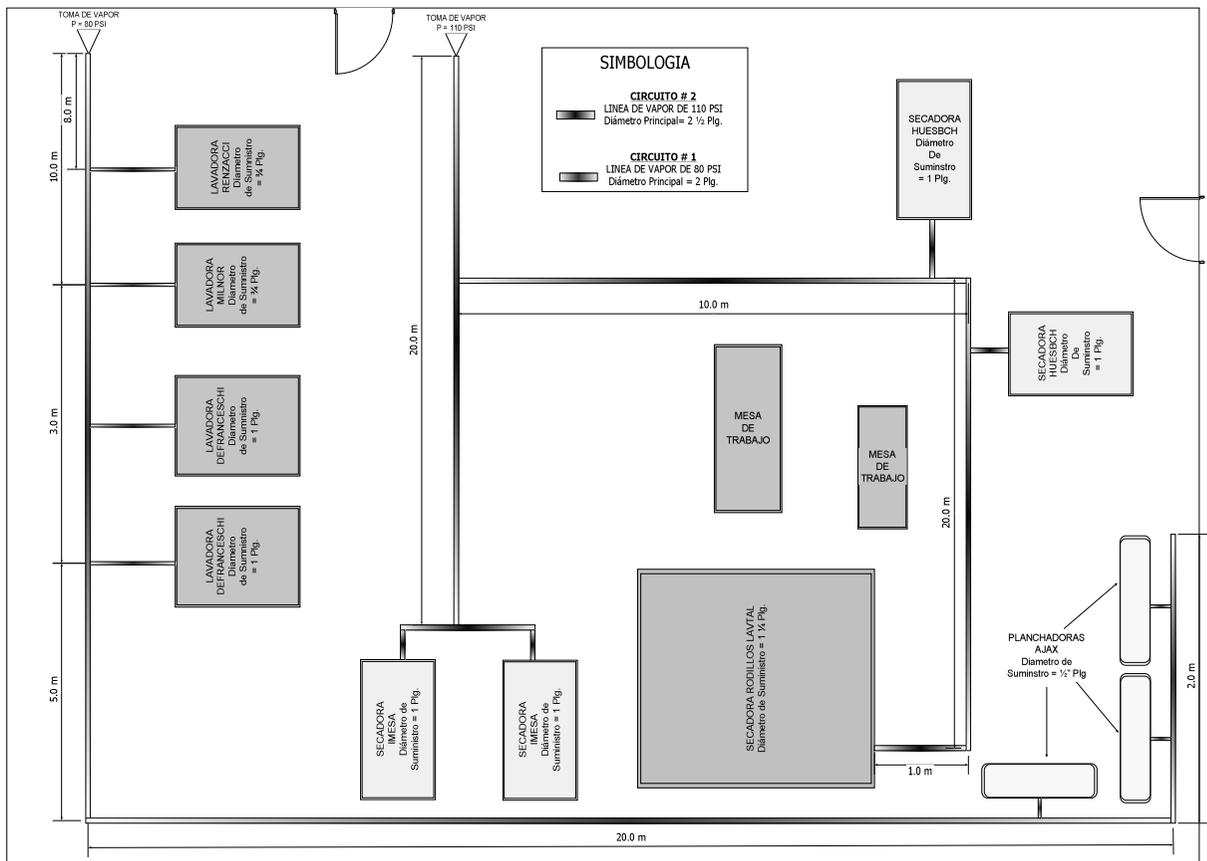
- Fuga de vapor: en el sistema de distribución existen fugas en las tuberías, en válvulas, en los equipos de proceso, en las trampas de vapor, en las bridas o conexiones especiales. Se debe reparar para la eliminación de las fugas, esta brindará la oportunidad de ahorrar energía y dinero, además este proceso es muy simple y de bajo costo.
- Trampas de vapor: el sistema de trampas cuenta con un programa de mantenimiento, pero a pesar del programa, el sistema funciona a un 60%, debido a la existencia de pequeñas fugas en las trampas de vapor.
- Aislamientos: el aislamiento o recubrimiento de las tuberías y los accesorios en algunos tramos, es antiguo y en algunos tramos no existe tal recubrimiento. Se ha demostrado que al instalar aislamientos, una planta puede dejar de consumir aproximadamente 6,000 lb/hr y puede bajar la cantidad de combustible utilizado, de esta manera reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 6 % y lograr recuperar la inversión en 6 meses.

La mayoría de trampas de vapor se encuentran instaladas sin sus respectivos accesorios de norma (mirillas, válvulas de corte, filtros, y cheques), lo cual junto con un escaso mantenimiento de las mismas, da como resultado que el sistema de trampeo de vapor se encuentre en malas condiciones.

## 2.2.1. Lavandería

La capacidad de un sistema de lavandería se determina por el número de camas que tiene el hospital, ya que de ello depende la cantidad de ropa que se debe de lavar al día y la que se debe procesar por turno.

Figura 15. Distribución de lavandería



Fuente: elaboración propia.

La ropa empleada en hospitales debe someterse a un proceso higiénico de lavado especial según su tipo y uso, que evite el contagio de gérmenes a los pacientes que la usan.

En todos los sistemas se utilizan diversos fluidos y energéticos para el funcionamiento de las maquinas:

- Agua caliente y fría
- Vapor
- Energía eléctrica
- Aire comprimido
- Combustibles.

#### **2.2.1.1. Descripción de equipos**

Lavadoras: estos son equipos electromecánicos que utilizan movimientos alternantes y con intervención de agua, vapor y productos químicos con lo que se obtiene la desinfección y limpieza de la ropa. Los cuales están diseñados para procesar “desde 50 hasta 210 kg por carga<sup>3</sup>”.

Planchas: la ropa de uso hospitalario se procesa en equipos especiales de planchado, denominados unidades de ropa de forma. Hay tres tipos de estas máquinas y su calentamiento es específicamente a base de vapor.

#### **2.2.1.2. Requerimiento de vapor**

Para la determinación del diámetro de las tuberías y para alimentación de vapor de los equipos registrados en la visita al área de lavandería del Hospital,

---

<sup>3</sup> Manual de Usuario, *Milnor Company & Ltd/ Manual de Usuario Defranceschi*. p. 16

se utilizaron datos recabados en dicha visita y consultas a las páginas de *Internet* de las empresas fabricantes las que tuviesen; vale mencionar que por la dificultad que presentaron algunos equipos para poder encontrar los datos relativos a su consumo, y presiones de trabajo, se asumieron valores de acuerdo a los encontrados en equipos similares dentro de las marcas que se logró tener acceso.

De la información registrada se tiene las siguientes características de los equipos:

Tabla III. **Descripción de la lavadora industrial Renzacci**

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Equipo:                          | Lavadora industrial       |
| Marca:                           | Renzacci                  |
| Modelo:                          | LX-120                    |
| Capacidad:                       | 264 Lbs.                  |
| Presión de operación:            | 80 psi                    |
| Consumo de vapor:                | 264 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 1                         |

Fuente: elaboración propia, tomada de placa base.

Figura 16. Lavadora Renzacci



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Descripción de la lavadora industrial Defranceschi

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Equipo:                          | Lavadora Industrial       |
| Marca:                           | Defranceschi              |
| Modelo:                          | * no especificado         |
| Capacidad:                       | 528 Lbs.                  |
| Presión de operación:            | 80 psi                    |
| Consumo de vapor:                | 528 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 2                         |

**Nota:** De este equipo no se encontró información, por lo que se asume una capacidad y consumo del doble de la marca Renzacci.

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Lavadora Defranceschi



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Descripción de la lavadora industrial Milnor

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Equipo:                          | Lavadora industrial       |
| Marca:                           | Milnor                    |
| Modelo:                          | * no especificado         |
| Capacidad:                       | 140 Lbs.                  |
| Presión de operación:            | 80 psi                    |
| Consumo de vapor:                | 210 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 1                         |

**Nota:** De este equipo no se encontró mucha información, por lo que se asume un consumo del 80% de la marca Renzacci.

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Lavadora Milnor



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Descripción de la Planchadora industrial tipo prensa

|                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Equipo:                          | Planchadora industrial tipo prensa |
| Marca:                           | Ajax                               |
| Modelo:                          | 554-C                              |
| Capacidad:                       | 12 Piezas por Hora                 |
| Presión de operación:            | 80 psi                             |
| Consumo de vapor:                | 50 Lb <sub>v</sub> /Hora           |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 3                                  |

Fuente: elaboración propia, tomada de placa base.

**Figura 19. Planchadora industrial tipo prensa**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla VII. Descripción de la secadora de ropa Imesa**

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Equipo:                          | Secadora de ropa          |
| Marca:                           | Imesa                     |
| Modelo:                          | ES-23                     |
| Capacidad:                       | 50 Lbs.                   |
| Presión de operación:            | 110 psi                   |
| Consumo de vapor:                | 262 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 2                         |

Fuente: elaboración propia, tomada de placa base.

Figura 20. **Secadora de ropa Imesa**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Descripción de la secadora industrial Huebsch**

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Equipo:                          | Secadora industrial       |
| Marca:                           | Huebsch                   |
| Modelo:                          | Originator 120            |
| Capacidad:                       | 50 Lbs.                   |
| Presión de operación:            | 110 psi                   |
| Consumo de vapor:                | 262 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas: | 2                         |

Fuente: elaboración propia, tomada de placa base.

Figura 21. **Secadora industrial Huebsch**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Descripción de la secadora planchadora Lavital**

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Equipo:  | Secadora planchadora      |
| Marca:   | Lavital                   |
| Modelo:  | RC 600                    |
| Capacidad:   | 450 Piezas / hora         |
| Presión de operación:  | 110 psi                   |
| Consumo de vapor:  | 393 Lb <sub>v</sub> /Hora |
| Cantidad de máquinas instaladas:   | 1                         |
| <b>Nota:</b> De este equipo no se encontró información, se asume una capacidad y consumo del 1.50 de de la marca Imesa |                           |

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Secadora planchadora Lavital**



Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2. Cocina**

La cocina cuenta con 4 marmitas o vaporeras. Con capacidad de 50 litros y tres de estas tienen fuga de vapor las cuales visualmente se determinaron y por ende incide en la pérdida de vapor. Para los gastos de vapor de los diferentes equipos de los departamentos de autoclaves, lavandería y cocina se calcularon según tabla X. Para calcular los caballos de fuerza se divide el flujo de dentro de 34,5 lb/hora.

Tabla X. **Consumo de aparatos de cocina**

| <b>Equipo</b>             | <b>Dimensional</b> | <b>Consumo</b>     |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Estufa de legumbres       | Por comportamiento | 18,12 Kg. Por hora |
| Cafetera                  | Por cada litro     | 0,41 Kg. Por hora  |
| Baño María                | Por m <sup>2</sup> | 16,60 Kg. Por hora |
| Mesa térmica              | Por m <sup>2</sup> | 8,30 Kg. Por hora  |
| Horno para alimentos      | Por m <sup>3</sup> | 28,0 Kg. Por hora  |
| Máquina para lavar platos | Por gaveta         | 28,0 Kg. Por hora  |

Fuente: USAC, ERIS Instalación de equipo de hospitales. p. 67

### **2.2.2.1. Descripción de equipos**

Este sistema está formado por:

Marmitas: el cual es un sistema de calentamiento indirecto muy utilizado en la industria alimentaria para cocción de los mismos, las marmitas de vapor necesitan de una caldera como fuente de vapor por su capacidad las cuales van desde 25, 50, 100 y 150 galones.

Lavatrastos: este es un equipo de lavado de los utensilios para los alimentos, utiliza productos químicos y agua caliente por vapor para la limpieza en su interior.

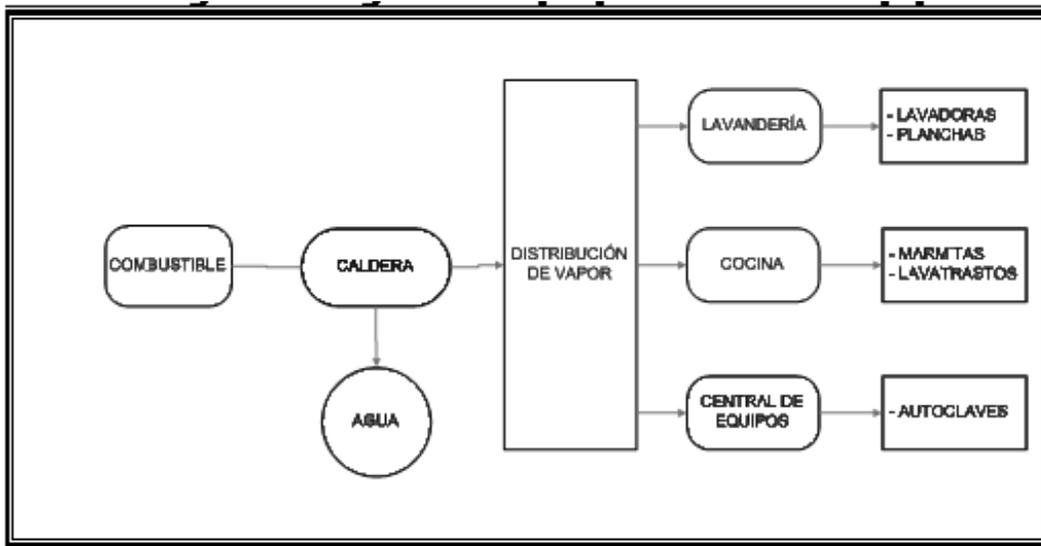
### **2.2.2.2. Requerimiento de vapor**

El requerimiento de vapor es de 50 libra de vapor a una presión de 25 PSI por cada una de las marmitas que se encuentran en la cocina instalada.

### 2.2.3. Autoclave

Es un equipo para la esterilización de los instrumentos de uso médico por medio de vapor a presión se realiza mediante la esterilización en autoclave. Las bacterias se matan más fácilmente por el calor húmedo que por calor seco.

Figura 23. Diagrama de vapor para central de equipos



Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.3.1. Descripción de equipos

Dispositivo que utilizando vapor de agua a alta presión y temperatura, y evitando así, con las altas presiones que el agua llegue a ebulir a pesar de su alta temperatura bajo el fundamento que la autoclave es quien coagula los microorganismos debido a la presión y temperatura.

### 2.2.3.2. Requerimiento de vapor

En la siguiente tabla se presentan los requerimientos, los cuales están basados en la capacidad de estas mismas, 25 litros y el consumo de cada uno de los equipos que en su placa indica el consumo de 200 lbv por hora (lbv/h).

Tabla XI. Requerimientos por aparato

| Cantidad     | Descripción            | Lbv hr. c/u | Sub-total    |
|--------------|------------------------|-------------|--------------|
| 1            | Lavadora Renacci       | 264         | 264          |
| 1            | Lavadora Milnor        | 210         | 210          |
| 2            | Lavadora Defranceschi  | 528         | 1056         |
| 2            | Lavadora Imesa         | 262         | 524          |
| 1            | Planchador de rodillos | 393         | 393          |
| 3            | Planchador Ajax        | 50          | 150          |
| 2            | Secador Huesbch        | 262         | 524          |
| 4            | Marmitas               | 50          | 200          |
| 2            | Autoclave              | 200         | 400          |
| <b>Total</b> |                        |             | <b>3 721</b> |

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Condiciones, inspección y descripción de equipos

Se realizó un análisis del sistema de vapor del Hospital Nacional de Antigua Guatemala y se cuantificó su consumo y generación de vapor y energía en los distintos equipos del sistema de vapor (calderas, calentadores, lavandería, cocina y autoclaves) a través de inspecciones fueron identificadas las principales causas de pérdida de energía que se producen en el sistema, los cuales se presentan a continuación con sus posibles soluciones a implementarse para aumentar la eficiencia del sistema, actualmente se estima que el sistema tiene una eficiencia entre el 35% y 40% el cual se corregirá con la instalación de una nueva caldera y cambio de algunas trampas de vapor.

### 2.3.1. Condiciones del agua suministrada

El sistema de agua de alimentación de la caldera no cuenta con un aislamiento adecuado de su tubería y el tanque es necesario que se realice este aislamiento en el cual se está perdiendo bastante calor.

Figura 24. Tanque de alimentación de agua a la caldera



Fuente: elaboración propia.

Actualmente no se está llevando un control de químicos para inspeccionar el PH del agua de alimentación de la caldera lo que generará en un futuro incrustaciones y corrosión.

Figura 25. **Sistema de alimentación de la caldera**



Fuente: elaboración propia.

Generalmente las industrias controlan la cantidad del agua de sus calderas por análisis de muestras que realizan en sus propios laboratorios Sin embargo hay empresas que poseen un equipo portátil que maneja el propio operador de la caldera para controlar diariamente tanto la dureza (salinidad) como el pH (alcalinidad y acidez) del agua. La muestra de agua debe tomarse del interior de la caldera (del tubo de nivel o del fondo) teniendo la precaución de purgar bien, hasta que salga el agua que representa realmente la que contiene la caldera. Para esta medición se ha ideado una escala de valores PH (concentración de iones de hidrógeno) entre 0 y 14. La descripción se basa corresponde a PH igual a 7 indica agua neutra, PH entre 0 a 6 indica agua ácida y PH entre 8 a 14 indica agua alcalina.

Además la forma de abastecer el tanque de combustible diesel para la caldera es por medio de una bomba la cual se activa manual y en repetidas ocasiones el operador ha dejado conectada la bomba y ha salido a atender otro

tipo de actividades y cuando ha regresado encuentra rebalsando el tanque, por lo que se recomienda instalar sensor de nivel dentro del tanque del sistema de abastecimiento de combustible a la caldera.

Los sensores de nivel se utilizan para comprobar si el nivel de un depósito ha superado o no una determinada posición. Pueden ser mecánicos (flotador más interruptor), es necesario que se instale un interruptor para que bloquee el flujo de alimentación del motor de la bomba cuando el combustible alcance los niveles permisivos de llenado del tanque y así se sigan evitando los rebases que causas pérdidas en el suministro de combustible.

Figura 26. **Sistema de abastecimiento de combustible**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2. Inspección y descripción del estado de accesorios**

En una red de tuberías cualquiera que sea, es importante tomar en cuenta la accesibilidad para cambiar las piezas que con el tiempo se van gastando

como por ejemplo: válvulas de alivio, tubos, filtros y trampas. Es importante para reducir el tiempo y el costo de mantenimiento.

### 2.3.2.1. Trampas de vapor

En auditoría realizada se encontró que actualmente no se lleva un mantenimiento preventivo a las trampas de vapor instaladas en las distintas áreas y existen trampas dañadas.

Figura 27. Situación actual de las trampas de vapor



Fuente: elaboración propia.

**Figura 28. Situación actual de llave de paso**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2.2. Tuberías y accesorios**

En inspección realizada se determinó que la mayor parte de la tubería y sus accesorios no cuentan con revestimiento adecuado, en un 75% la tubería se encuentra expuesta, lo cual provoca que los tramos que no cuentan con el revestimiento estén raídos y carcomidos, el mismo caso es con los accesorios. A continuación se muestran algunos ejemplos de lo descrito.

Figura 29. **Situación actual de tuberías**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Situación actual de tuberías y accesorios**

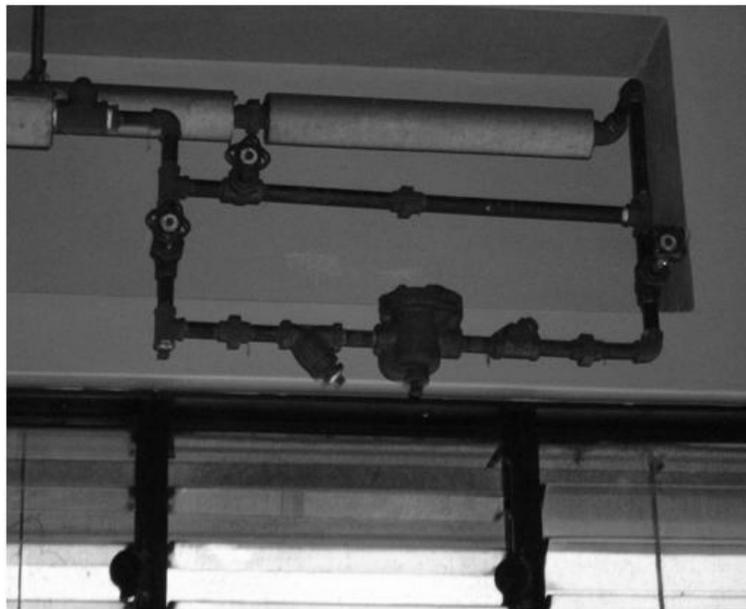


Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2.3. Válvulas

Al igual que las tuberías las válvulas se encuentran expuestas aunque están ubicadas en un lugar adecuado y accesible están expuestas a cualquier tipo de daño ya sea manual o de uso.

Figura 31. **Situación actual de las válvulas**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2.4. Manómetros

La situación de los manómetros no escapa del descuido y falta de protección, en algunos de los casos se encuentran deteriorados lo cual implica la poca visibilidad de la medición de los mismos, por lo tanto no es exacta la medición de la presión de los mismos.

Figura 32. **Situación actual de los manómetros**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.3.2.5. Juntas de dilatación**

En el edificio se encontró que existían juntas de dilatación sin los pernos de sujeción los cuales son de gran importancia para evitar que la junta pueda fallar por una alta tensión sobre ésta.

#### **2.4. Cálculos de eficiencia, eficacia y costos de operación**

Según los datos recabados en la auditoría energética se ha constatado que en la mayor parte del sistema de vapor cuenta con deficiencias, como el de las calderas que está trabajando por debajo del 50% de su capacidad, tampoco se ha llevado un control adecuado del PH el cual da como resultado la corrosión. Otro de los problemas encontrados es la activación manual de la bomba que en algunas ocasiones se ha dejado funcionando por largo tiempo, lo cual significa el rebalse del tanque. Por otro lado no se cuenta en su totalidad con el recubrimiento adecuado de las tuberías. La caldera nueva instalada en el hospital está teniendo un consumo promedio de 2 000 galones de diesel en 26

días trabajando 9 horas diarias y se está comprando el galón de diesel a Q28,00 durante el mes de abril, ya que por ser el hospital una institución estatal tiene que comprar con anticipación y a través de crédito el combustible necesario para su funcionamiento.

De la caldera que se cambió a base de bunker se tenía un consumo de 2 000 galones en 22 días trabajando 9 horas diarias y el precio del bunker para el hospital es de Q 18,00 durante este mes de abril, expresan las autoridades del hospital que ellos no sintieron un cambio significativo al implementar este equipo nuevo. Según este dato proporcionado por autoridades del hospital se estimó un consumo anual de 28 077 galones de diesel con un costo de Q786 156,00 para abastecer la demanda energética con la nueva caldera en las distintas áreas del hospital.

Tabla XII. **Pérdidas**

| Item         | Oportunidad de ahorro de energía  | Porcentaje de pérdidas en función del consumo de combustible | Pérdidas anuales expresada en galones de Diesel | Pérdidas expresadas en Q según el precio a que se compró el galón de diesel en el hospital en el mes de abril, (Q 28,00) |
|--------------|---|--|---|--|
| 1            | Aislamiento de tanque de alimentación de agua a la caldera  | 3%   | 842,31  | 23 584,68  |
| 2            | Implementar un tratamiento adecuado para controlar el PH del agua de alimentación de la caldera ya que actualmente no se esta utilizando                      | 5%   | 1 403,85  | 39 307,80  |
| 3            | Instalar sensores de nivel en el sistema de abastecimiento de combustible a la caldera ya que actualmente se hace manual y en ocasiones se rebalasa el tanque | 1%   | 280,77  | 7 861,56   |
| 4            | Recuperar condensados ingresándolos nuevamente al tanque de alimentación de agua de la caldera .  | 2%   | 561,54  | 15 723,12  |
| 5            | Mantenimiento a trampas de vapor y sustituir las que ya estan dañada y no funcionan   | 10%  | 2 807,70  | 78 615,60  |
| 6            | Mejorar el aislamiento y recubrir las tuberías que se encuentran sin aislamiento  | 7%   | 1 965,39  | 55 030,92  |
| 7            | Eliminar fugas de vapor existentes en los equipos de lavandería .   | 3%   | 842,31  | 23 584,68  |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>31%</b>   | <b>8 703,87</b>                                 | <b>243 708,36</b>  |

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los costos estimados para las propuestas planteadas al hospital, el tiempo en que se recuperará esta inversión y la estimación de ahorro en porcentaje el proceso.

**Tabla XIII. Costos de recuperación**

| Item         | Oportunidad de ahorro de energía  | Porcentaje de ahorro en combustible | Beneficios económicos en el Año en Q | Inversión en Q    | Recuperación de la Inversión (años) |
|--------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1            | Aislamiento de tanque de alimentación de agua a la caldera  | 3%                                  | 23 584,68                            | 15 000,00         | 0,64                                |
| 2            | Implementar un tratamiento adecuado para controlar el PH del agua de alimentación de la caldera ya que actualmente no se esta utilizando                      | 5%                                  | 39 307,80                            | 24 000,00         | 0,61                                |
| 3            | Instalar sensores de nivel en el sistema de abastecimiento de combustible a la caldera ya que actualmente se hace manual y en ocasiones se rebalasa el tanque | 1%                                  | 7 861,56                             | 4 000,00          | 0,51                                |
| 4            | Recuperar condensados ingresándolos nuevamente al tanque de alimentación de agua de la caldera.   | 2%                                  | 15 723,12                            | 20 000,00         | 1,27                                |
| 5            | Mantenimiento a tramapas de vapor y sustituir las que ya estan dañada y no funcionan  | 10%                                 | 78 615,60                            | 12 000,00         | 0,15                                |
| 6            | Mejorar el aislamiento y recubrir las tuberías que se encuentran sin aislamiento  | 7%                                  | 55 303,92                            | 25 000,00         | 0,45                                |
| 7            | Eliminar fugas de vapor existentes en los equipos de lavandería.  | 3%                                  | 23 584,68                            | 5 000,00          | 0,21                                |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>31%</b>                          | <b>243 708,36</b>                    | <b>105 000,00</b> | <b>0,43</b>                         |

Fuente: elaboración propia.

Si el hospital implementa las mejoras energéticas que se están indicando se tendrá una inversión anual total de Q105 000,00 y tendrán beneficios económicos de ahorro en la compra anuales de Q 243 708,36, por lo que su ahorro al final del primer año será de Q138 708,36 y la inversión se recuperará en 5,16 meses asumiendo que el galón de diesel se les siga suministrando a Q 28,00, pero sin importar el precio del combustible de tiene un ahorro energético de 31% en consumo de combustible demostrando con ello la rentabilidad de la instalación del nuevo equipo.

Por lo tanto de los datos proporcionados por el hospital para el mes de abril 2010 y aplicando el ahorro de 31% en combustible anual que se tendrá después de que se implemente las mejoras energéticas tenemos:

Tabla XIV. **Tabla de ahorro de caldera**

| Equipo                                 | Consumo de combustible anual en galones | Costo del combustible vendido al hospital al mes de abril de 2010 en Q | Costos totales anuales en Q |
|--|---|--|-----------------------------|
| Caldera a base de bunker               | 33 181,81                               | 18,00  | 597 272,58                  |
| Caldera a base de diesel               | 19 373,13                               | 28,00  | 542 447,64                  |
| <b>Ahorro con la caldera de diesel</b> |   |  | <b>54 824,94</b>            |

Fuente: elaboración propia.

### 2.4.1. **Presión y temperatura**

El sistema de vapor del hospital trabaja a una presión entre 80 a 90 psi, lo cual significa que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, etc.), tienen temperaturas superficiales de 155 a 170 °C aproximadamente, por lo cual se crean gradientes de temperatura. La presión de trabajo recomendable es de 100 psi a una temperatura de 80° grados centígrados.

- **Factor de caída de presión**

Para realizar el cálculo del diámetro de la tubería de vapor, se utiliza el método que considera la caída de presión y relaciona ésta con un factor determinado por tablas; dado por la fórmula:

$$F = (P1 - P2) / L$$

Donde:

F = Factor de caída de presión

P1 = Factor basado en la presión Inicial

P2 = Factor basado en la presión final o de operación

L = Longitud equivalente de tubería

- **Longitud equivalente**

Para calcular la longitud equivalente (Leq.), se toma el valor estimado de acuerdo al plano de referencia (adjunto) y la misma se calcula mediante el criterio de mayorizarla a un 20% por ser tubería de longitud corta; entonces la Longitud Equivalente está dada por:

$$\text{Leq.} = [\text{Longitud desde la alimentación hasta la toma de máquina}] * 1,20$$

- **Consumo de vapor**

Los consumos registrados por máquina, se trabajan para efectos de cálculo mediante el criterio de considerar una pérdida de 5% por cada 100 pies de longitud equivalente y se incrementa a un 25% por futuras ampliaciones; entonces el consumo queda determinado por:

$$\text{Consumo de Vapor} = [\text{Consumo Máquina}] + [5\% \text{ por Pérdidas}] + [25\% \text{ por Ampliación}]$$

#### **2.4.2. Capacidad de vapor proporcionada por la caldera**

La capacidad de vapor generada por la caldera es de 2 500 lb de vapor por hora, lo cual satisface la demanda y requerimientos mínimos de todos los equipos instalados en el hospital, sin embargo debería de ser únicamente 2 000 lbv pero debido a las fugas es que se está generando 2 500 lbv por hora.

### **2.4.3. Determinación de la calidad de vapor**

La calidad del vapor es un valor difícil de determinar con exactitud. En la actualidad existen varios métodos para medir la calidad del vapor, sin embargo, no existe ninguno que pueda considerarse simple y sencillo.

### **2.4.4. Método del separador**

Puede considerarse como el más simple y se basa en la definición de calidad. Se puede utilizar un recipiente cilíndrico, horizontal o vertical, aislado con el fin de separar la fase vapor de la líquida tal como un separador de petróleo y gas. Las medidas de las tasas de flujo por peso de las dos fases cuando éstas dejan el separador, dan una indicación directa de la calidad.

Cualquier método para medir el flujo de las dos fases puede resultar aceptable. Algunas instalaciones utilizan medidores de orificio en ambas líneas, sin embargo un medidor de desplazamiento positivo o un medidor de turbina en el lado del líquido pueden resultar satisfactorios si se realizan las correcciones por temperatura.

Para calcular la calidad la tasa de flujo en peso de vapor se divide entre las tasas de flujo en peso de las corrientes de agua y vapor. Si la unidad generadora de vapor opera bajo condiciones de flujo continuo, como generalmente lo hace la calidad puede hallarse dividiendo la tasa de vapor en el separador por la tasa de agua entrante.

#### 2.4.5. Costos de operación kilogramo de vapor por hora

El costo de operación es de Q 0,623 el kilogramo de vapor por hora, tomando en cuenta el salario de toda la planilla del recurso humano involucrado.

#### 2.4.6. Planilla del recurso humano involucrado

La información recopilada al área administrativa presenta la información en la tabla siguiente.

Tabla XV. **Recurso humano**

| <b>Cant.</b> | <b>Puesto</b>              | <b>Salario</b> | <b>Total</b>        |
|--------------|----------------------------|----------------|---------------------|
| 1            | Encargado de mantenimiento | Q. 6 500,00    | Q. 6 500,00         |
| 2            | Técnicos operarios         | Q.2 000,00     | Q. 4 000,00         |
| 2            | Mecánicos                  | Q. 2 250,00    | Q. 4 500,00         |
| 2            | Albañiles                  | Q. 1 570,00    | Q. 3 140,00         |
| 2            | Carpinteros                | Q. 1 700,00    | Q. 3 400,00         |
| 2            | Conserjes                  | Q. 1 570,00    | Q. 3 140,00         |
| 1            | Tornero                    | Q. 2 450,00    | Q. 2 450,00         |
| <b>Total</b> |                            |                | <b>Q. 27 130,00</b> |

Fuente: elaboración propia, datos proporcionados por R.R.H.H.

#### 2.5. Resultados y comparaciones

Se recomienda inspeccionar periódicamente las redes de vapor, artefactos y realizar algunas reparaciones necesarias para la mejora de la eficiencia del sistema. A continuación se proponen algunas sugerencias a efectuar basado en la auditoría realizada:

- Utilizar cemento aislante, el cual aguanta temperaturas entre 600 y 1 000 grados centígrados, es una masilla aislante moldeable que se activa con

agua formando un material incombustible de baja densidad, excelente resistencia y conductividad térmica.

- Que el pH del agua de caldera sea superior a 7 (agua neutra o alcalina) y en lo posible superior a 10,5 y menor a 12,0. En la determinación práctica del pH se pueden emplear papeles impregnados (papeles pH) con colorantes especiales que indican su valor al adquirir determinados colores.
- Que se realice una nueva línea de tubería que ingrese directamente al tanque de alimentación de agua de la caldera pues actualmente el condensado retorna a los tanques de agua caliente.
- Sustituir las dos trampas de vapor que se encuentran dañadas y reparar algunas otras que se encuentran en el área de lavandería e implementar un plan de mantenimiento preventivo tomando en cuenta que en una red de distribución de vapor el mal funcionamiento y deterioro de las trampas de vapor o purgadores puede producir pérdidas superiores al 10% del total producido por las calderas. Es muy importante prestar la debida atención a dichos dispositivos, para lo cual se debe considerar lo siguiente:
  - Selección del tipo adecuado de trampa para el servicio requerido
  - Diseño adecuado de las tuberías de drenaje de condensado
  - Uso de filtros de protección para las trampas
  - Revisiones periódicas del funcionamiento de trampas y limpieza de filtros

- Establecer el mantenimiento necesario para conservar el sistema trabajando en las condiciones óptimas.

Las causas principales por las cuales fallan las trampas de vapor son:

- Desgaste
- Suciedad
- Corrosión por condensado ácido
- Golpe de ariete

A continuación se describen los métodos principales para comprobar el funcionamiento de las trampas de vapor, tales como para establecer el tipo de mantenimiento que puedan requerir estos dispositivos:

- Método visual: observación de la descarga de la trampa por un by-pass.
- Método acústico: chequeo por el sonido que produce el vapor o condensado a su paso por la trampa. Es un excelente método, pero es afectado cuando hay interferencias.

El monitoreo de trampas permitirá conocer periódicamente el estado de las trampas y de acuerdo a ello tomar acciones preventivas o correctivas. La periodicidad del monitoreo dependerá de las horas de funcionamiento del sistema de vapor, de la presión de trabajo, del modo como se opere el sistema.

### **3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

#### **3.1. Evaluación de la distribución de tuberías**

La distribución del vapor en el hospital se hace por medio de tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo para poder satisfacer la demanda en las diferentes áreas del nosocomio. En los sistemas de distribución de vapor se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía que a su vez implican mayor consumo de combustible en la caldera para compensar dichas pérdidas.

En el sistema de generación-distribución la eficiencia es del 35% a 40% de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera (sistema de vapor), tal como se describió en la situación actual, sin embargo ésta puede ser mejorada al optimizarse el sistema.

Los sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión. En el sistema de tuberías de vapor se propone que debe ser evaluado con más frecuencia ya que las averías son pocas pero, se encuentran en:

- Cocina
- Lavandería

- Cuarto de calderas

En la distribución de tuberías se detectaron varias fallas debido a que no hay una evaluación constante y no se realiza el mantenimiento respectivo, cada vez son más las fugas de vapor, las averías y el deterioro del sistema. Aunque son mínimas, se encuentran específicamente en:

- El sistema de tuberías
- Fugas de vapor
- Falta de aislamiento térmico
- Aislamiento térmico muy antiguo
- Aislamiento térmico dañado

Cuando existe una buena evaluación del sistema de tuberías se previenen pérdidas de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua y a depositarse en el fondo de la misma. En la evaluación del sistema de tuberías se tomó en cuenta los siguientes factores:

- Inspeccionar las tuberías y accesorios del sistema.
  - Fugas
  - Corrosión

- Falta de aislamiento térmico
- Inspeccionar el aislamiento térmico
  - Humedad
  - Espesor adecuado

### **3.1.1. Aislante térmico en tuberías de distribución del vapor**

Todas las tuberías de distribución de vapor que necesitan estar protegidas con aislante térmico se recomienda, que antes del montaje debe comprobarse que las tuberías no estén rotas, dobladas, aplastadas, oxidadas o dañadas de cualquier manera. Para dicha instalación se harán de forma ordenada.

La separación entre la superficie exterior del recubrimiento de una tubería y cualquier otro elemento será tal que permita la manipulación y el mantenimiento del aislante térmico, así como de válvulas, purgadores, aparatos de medida y control.

El órgano de mando de las válvulas no deberá interferir con el aislante térmico de la tubería. Las válvulas roscadas y las de mariposa deben estar correctamente acopladas a las tuberías, de forma que no haya interferencia. La alineación de las canalizaciones en uniones, cambios de sección y derivaciones se realizará sin forzar las tuberías, empleando los correspondientes accesorios o piezas especiales.

Para la realización de cambios de dirección se utilizarán preferentemente piezas especiales, unidas a las tuberías mediante rosca, soldadura, encolado o

bridas. Cuando las curvas se realicen por cintrado de la tubería la sección transversal no podrá reducirse ni deformarse; la curva podrá hacerse corrugada para conferir mayor flexibilidad. El cintrado se hará en caliente cuando el diámetro sea mayor que DN 50 y en los tubos de acero soldado se hará de forma que la soldadura longitudinal coincida con la fibra neutra de la curva.

El radio de curvatura será el máximo que permita el espacio disponible. Las derivaciones deben formar un ángulo de 45 grados entre el eje del ramal y el eje de la tubería principal. El uso de codos o derivaciones con ángulos de 90 grados está permitido solamente cuando el espacio disponible no deje otra alternativa o cuando se necesite equilibrar un circuito.

#### **3.1.1.1. Conexiones**

Las conexiones de los equipos y los aparatos a las tuberías en el hospital nacional se deben realizar de tal forma que entre la tubería y el equipo o aparato no se transmita ningún esfuerzo, debido al peso propio y las vibraciones. Las conexiones deben ser fácilmente desmontables a fin de facilitar el acceso al equipo en caso de reparación o sustitución.

Los elementos accesorios del equipo, tales como válvulas de interceptación y de regulación, instrumentos de medida y control, manguitos amortiguadores de vibraciones, filtros entre otros, deberán instalarse antes de la parte desmontable de la conexión, hacia la red de distribución.

Se admiten conexiones roscadas de las tuberías a los equipos o aparatos solamente cuando el diámetro sea igual o menor que DN 50.

### **3.1.1.2. Uniones**

Las uniones pueden realizarse por soldadura, encolado, rosca, brida, compresión mecánica o junta elástica. Los extremos de las tuberías se prepararán de forma adecuada al tipo de unión que se debe realizar.

Antes de efectuar una unión, se repasarán y limpiarán los extremos de los tubos para eliminar las rebabas que se hubieran formado al cortado o aterrajados y cualquier otra impureza que pueda haberse depositado en el interior o en la superficie exterior, utilizando los productos recomendados por el fabricante.

Se recomienda que las tuberías tengan el menor número posible de uniones. Entre las dos partes de las uniones se interpondrá el material necesario para la obtención de una estanquidad perfecta y duradera a la temperatura y presión de servicio.

Cuando se realice la unión de dos tuberías, directamente o a través de un accesorio, no deben forzarse para conseguir que los extremos coincidan en el punto de acoplamiento sino que deben haberse cortado y colocado con la debida exactitud.

No deberán realizarse uniones en el interior de los manguitos que atraviesen paredes, forjados u otros elementos estructurales. Los cambios de sección en las tuberías horizontales se efectuarán con manguitos excéntricos y con los tubos enrasados por la generatriz superior para evitar la formación de bolsas de aire.

No se permite la manipulación en caliente a pie de obra de tuberías de materiales plásticos, salvo para la formación de abocardados y en el caso de que se utilicen los tipos de plástico adecuados para la soldadura térmica.

El acoplamiento de tuberías de materiales diferentes se hará por medio de bridas; si ambos materiales son metálicos la junta será dieléctrica. En los circuitos abiertos el sentido de flujo del agua debe ser siempre desde el tubo de material menos noble hacia el material más noble.

### **3.1.2. Aislante térmico en accesorios de tuberías**

Se pudo observar que algunos accesorios están sin aislamiento térmico esto contribuye a que aumente la pérdida de calor, además la temperatura del aire en algunas áreas alcanza valores elevados e incomoda a las personas que trabajan en las marmitas cercanas y en las áreas aledañas.

Debido a lo mencionado anteriormente se debe tomar en cuenta la supervisión a los accesorios porque son igualmente indispensables como las tuberías, para evitar las pérdidas térmicas. Según los cálculos, por cada dispositivo se llega a ahorrar cantidades de kg/h de vapor, esto dependerá del diámetro del accesorio. Por ejemplo, aislar térmicamente una válvula con diámetro de 200 decímetros equivale a ahorrar 2 kg/h de vapor. Pero la experiencia conduce a valores notablemente mayores 0,8 a 1 kg/h por válvula de 40 a 50 decímetros de diámetro.

Se recomienda aislar térmicamente los accesorios por medio de colchones desmontables. Estos colchones se pueden fabricar con fibra de vidrio rellenos de lana mineral, y fijados mediante lazadas. Esta solución garantiza una larga vida a los colchones, superior a las láminas de revestimiento.

Se considera el espesor del colchón como igual al del aislamiento térmico de una tubería del mismo diámetro. A continuación se muestra una tabla que muestra los espesores mínimos recomendados:

Tabla XVI. **Recomendado mínimo espesor de aislamiento (pulgadas)**

| Tamaño Nominal de Tubo TNT (pulgadas) | Rango de temperatura (°C) |                       |                        |                       |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                                       | 50 - 90                   | 90 - 120              | 120 - 150              | 150 - 230             |
|                                       | Rango de temperatura (°F) |                       |                        |                       |
|                                       | 120 - 200                 | 201 - 250             | 251 - 305              | 306 - 450             |
|                                       | Agua caliente             | Vapor de baja presión | Vapor de media presión | Vapor de alta presión |
| < 1"                                  | 1,0                       | 1,5                   | 2,0                    | 2,5                   |
| 1 1/4" - 2"                           | 1,0                       | 1,5                   | 2,5                    | 2,5                   |
| 2 1/2" - 4"                           | 1,5                       | 2,0                   | 2,5                    | 3,0                   |
| 5" - 6"                               | 1,5                       | 2,0                   | 3,0                    | 3,5                   |
| > 8"                                  | 1,5                       | 2,0                   | 3,0                    | 3,5                   |

Fuente: obtenido de Norma ASME B16.5 revisión 2009.

- Coeficiente de conductividad térmica: el valor del coeficiente debe ser el menor posible, por lo regular se llega a obtener menor a  $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  para una temperatura en la superficie caliente, inferior o igual a  $250^\circ\text{C}$ , y una temperatura en la superficie fría, inferior o igual a  $40^\circ\text{C}$ .
- Resistencia al calor: el aislante térmico, sometidos a temperaturas altas, debe ser capaz de resistirlas sin que sus características experimenten

cambios (el vapor de agua a una temperatura inferior a 250°C debe resistir una temperatura de 3 000°C).

- Resistencia al fuego: el material aislante debe ser incombustible o ignífugo.
- Resistencia mecánica: todo material debe conservar en el tiempo sus dimensiones iniciales y especialmente, ofrecer durante el servicio una óptima resistencia a los asentamientos y debilitamientos. Esto ha llevado en la práctica a evitar los materiales de densidad muy baja.
- Resistencia a la humedad: los aislantes térmicos deben mantenerse estables en una atmósfera caliente y húmeda.

Estas características no solo son aplicables a los accesorios sino también para las tuberías.

### **3.1.3 Prevención de fugas de vapor**

Uno de los problemas de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse el operador de la caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor.

Este problema adolece de una serie de características que le hacen especialmente grave en el caso de las calderas destinadas, esto implica la necesidad de un nivel de disponibilidad lo más alto posible, resultando de un gran perjuicio económico cualquier necesidad no programada de parada de las mismas.

El problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil la predicción precisa del mismo. Los fenómenos de corrosión y de degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos, sin embargo nadie tiene datos suficientes de todos los elementos instalados en una caldera y menos de sus defectos ocultos de fabricación, como para establecer un modelo matemático que permitiese predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga.

En estos casos cuanto más días se lleva sin la manifestación de una fuga, más alta será la probabilidad de que dicha fuga pudiese aparecer. Una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras, no se puede dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades. Por estas razones, aunque son muy pocas, se recomienda tomar en cuenta con suma urgencia las pérdidas de vapor, que actualmente sufre el sistema de tuberías.

#### **3.1.4. Ubicación de trampas de vapor**

La ubicación de las trampas de vapor favorece una buena distribución del mismo, juicio y experiencia son a menudo elementos vitales para obtener los mejores resultados en las trampas de vapor, sin embargo un conocimiento

verdaderamente efectivo y la habilidad para desarrollar y mantener una actividad eficiente en trampas de vapor.

De acuerdo a los diferentes tipos de trampas de vapor existen cuatro pasos en la aplicación correcta de trampas en un sistema.

- Ubicación adecuada
- Selección apropiada
- Capacidad adecuada
- Instalación correcta

Para el sistema de vapor se recomiendan dos categorías:

#### **3.1.4.1. Aplicación de procesos**

En el proceso las trampas drenan el condensado que se forma al utilizarse el vapor. Los procesos comunes son:

- Calentamiento de un líquido (marmitas, intercambiadores de concha y tubo)
- Calentamiento de un gas (precalentamiento de aire, serpentines de calefacción, secadores entre otros)
- Calentamiento de un sólido (secadores de tambor)

- Calentamiento directo de sólidos (autoclaves)

Estas aplicaciones favorecen al sistema ya que se caracterizan por presiones normalmente menores de 125 PSI (0.86 Mpa), las cuales varían debido a la carga fluctuante del proceso. Por la misma razón, las cargas de condensado son también variables, especialmente en los procesos por tandas.

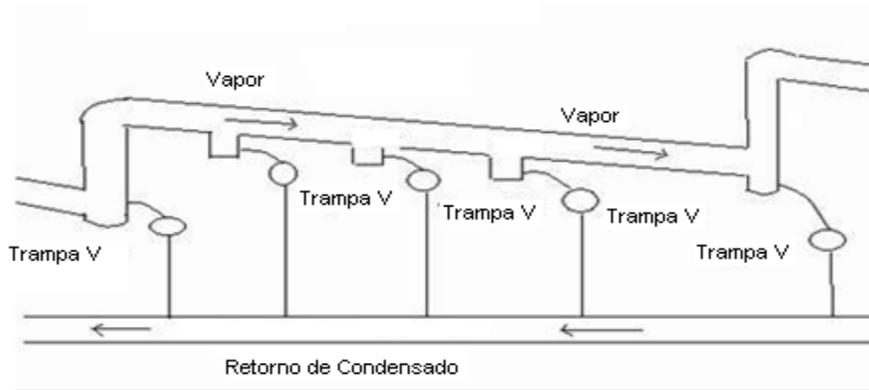
En este caso la descarga de aire y de gases no condensables es muy importante y puede implicar volúmenes grandes de estos gases. La ubicación normal de las trampas en todos estos casos es inferior al nivel del equipo de proceso. Es importante recordar que en el proceso cada equipo tiene su propia trampa, por ello nunca se deben drenar dos equipos con la misma trampa.

#### **3.1.4.2. Aplicación de protección de líneas**

Para la categoría de protección de líneas existen dos aplicaciones de trampas en lo que a protección de líneas se refiere. La primera es el drenaje de condensados que se forman en las líneas de distribución de vapor debido al enfriamiento ambiental. La segunda aplicación es en las líneas “*tracer*” o sea líneas de vapor normalmente de media pulgada, que se instalan contiguas a tuberías de distribución de fluidos que se necesitan mantener a cierta temperatura.

La descarga de aire es importante solamente durante el arranque. Durante la operación del sistema, la carga de condensado es muy baja y no existe necesidad de descargar aire y gases no condensables. A continuación se presenta la figura del sistema de vapor.

Figura 33. Sistema de vapor



Fuente: SEVERNS, W. H. Producción de energía mediante el vapor de agua. p. 114

### 3.1.5. Identificación de tuberías por código de colores

Es importante que en el Hospital Nacional de Antigua Pedro de Bethancourt se cumplan en todas las instalaciones de la red de vapor con las normas de identificación de tuberías para que los operadores, técnicos de mantenimiento y cualquier persona estén plenamente enterados que es lo que conduce y tome las precauciones necesarias.

#### 3.1.5.1. Código de colores para tubería de vapor

Se puede decir que todos los sistemas de tuberías se clasifican por el fluido que conducen. A continuación se presenta la siguiente tabla del código de colores del hospital.

Tabla XVII. **Código de colores**

| No. | Fluido                   | Color                         |
|-----|--------------------------|-------------------------------|
| 1   | Agua potable             | Azul                          |
| 2   | Aguas negras             | Café                          |
| 3   | Agua pluvial             | Café y naranja                |
| 4   | Agua dura                | Naranja                       |
| 5   | Agua caliente            | Azul y amarillo               |
| 6   | Retorno de agua caliente | Azul y naranja                |
| 7   | Agua desmineralizada     | Azul y verde                  |
| 8   | Red contra fuego         | Rojo                          |
| 9   | Vapor                    | Amarillo                      |
| 10  | Retorno condensado       | Amarillo y naranja            |
| 11  | Ventilación              | Negro                         |
| 12  | Oxígeno                  | Verde                         |
| 13  | Vacío                    | Negro y amarillo              |
| 14  | Aire comprimido          | Negro y café                  |
| 15  | Gas propano              | Blanco                        |
| 16  | Diesel                   | Anaranjado y blanco           |
| 17  | Dirección de flujo       | Amarillo con una flecha negra |

Fuente: elaboración propia, tomado de NORMA ANSI A13,1

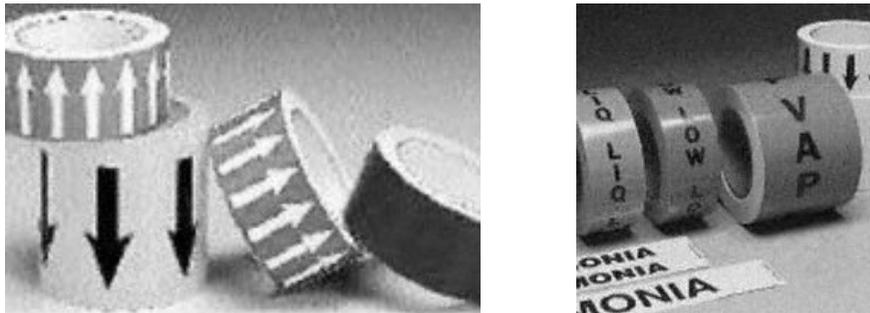
De la misma manera como los envases de los productos químicos deben ser identificados con las etiquetas, las tuberías que conducen fluidos deben estar señalizadas con la dirección del fluido y un código de colores acorde con el tipo de producto transportado.

Existen diversos códigos de colores diseñados para identificar los fluidos (líquidos y gaseosos) transportados, algunos de ellos como el creado por la *American Standard Association* (A.S.A.), c. La convertida en ANSI ( Instituto Nacional Americano de Estándares –ANSI, por sus siglas en inglés: *American National Standards Institute-*) actualmente.

La ANSI indica que los sistemas de tuberías se identificaran con letreros que indiquen el nombre del contenido, completo o abreviado, puede incluir el dato de temperatura y presión (vapor 100 psi, aire 80 psi, etc), para mayor identificación del peligro. Se utilizarán flechas para indicar el sentido del flujo del contenido de la tubería.

Por tanto, se sugiere pintar las tuberías de otros colores y utilizar cintas de demarcación que cumplan con las normas del código de colores. En todos los casos es muy importante colocar la señalización respectiva, en lugares estratégicos, de fácil visualización que identifique el tipo de fluido y su dirección. El cambio de colores se puede aplicar a criterio de la institución, siempre que el escogido sea bien conocido por todos los trabajadores de la planta y además no haya confusión con lo especificado en el código general, teniendo en cuenta que las cintas marcadoras facilitan el cumplimiento de las normas.

Figura 34. **Cintas marcadoras**



Fuente: [www.labsafety.com](http://www.labsafety.com), Catálogo de productos 2004.

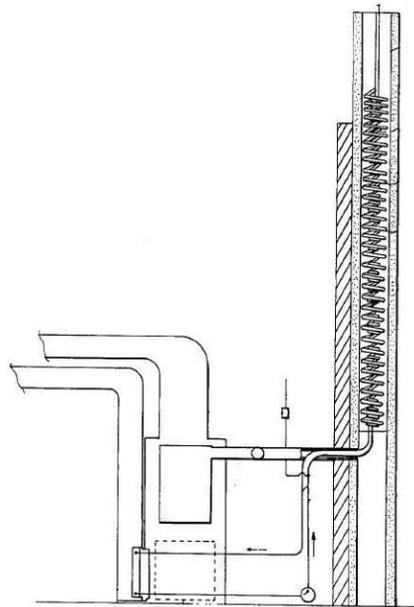
Las cintas marcadoras deben ir espaciadas un metro o menos en la tubería a los intervalos de distancia regulares que se considere necesario. Por su sencillez, esto es lo más recomendable para una buena señalización de seguridad.

### **3.2. Precalentador en Chimenea**

Colocar un serpentín para la circulación de líquidos el cual se debe de extender hacia arriba, al menos parcialmente a la longitud de la chimenea para absorber el calor de la combustión caliente de los gases emitidos por una cámara de combustión del combustible en el horno de calefacción. Lo cual

podría adherirse a una bomba conectada al dispositivo de intercambio de calor, como una unidad de radiación para suministra líquido caliente. Como muestra la gráfica, la unidad suministrará líquido caliente para luego entrar a la caldera y ser convertida en vapor dentro de la caldera.

Figura 35. **Serpentín en Chimenea de Caldera**



Fuente: US patent 4,044,210, Alonza y Daniel R. Pemberton.

### **3.3. Mantenimiento en operación**

El mantenimiento en operación es la llave del éxito para un buen funcionamiento del sistema de vapor. Procedimientos impropios pueden desgastar los equipos que manejan el combustible a través del desajuste de los componentes resultando en un inadecuado tratamiento del agua de la caldera y de los gases de combustión, permitiendo que el condensado, todavía caliente sea desperdiciado.

Una caldera a la que no se le ha dado mantenimiento es posible que inmediatamente se le pueda obtener un incremento de eficiencia de 20 a 30 por ciento. A continuación se enlistan algunos ejemplos de oportunidades que pueden ser realizadas:

- Tratamiento de agua: si el agua de alimentación de la caldera no es tratada adecuadamente, las incrustaciones pueden reducir su eficiencia tanto como 10 – 12 por ciento y puede, incluso ser peligroso para la instalación.
- Retorno de condensados: adicionalmente se requiere entre 15 a 18 por ciento de la energía de la caldera desde el sistema de generación y distribución de vapor para recalentar cada libra de agua fría de repuesto.
- Controladores de carga: sistemas de control distribuido digital basados en computadoras proveen una confiabilidad y tal que pueden alargar la vida útil de la caldera. Controles de quemadores múltiples se pueden acoplar con el control de ajuste de aire lo que puede dar como resultado ahorros de combustible de 3 a 5 por ciento.

Para el mantenimiento en operación es importante poner atención a lo siguiente:

- Revisar las trampas de vapor y de condensados y asegurar que los condensados son retornados eficientemente.
- Instalar medidores y llevar registros de hacia dónde va el vapor. Hacer inspecciones del sistema general de distribución en cada punto del

sistema y de cada uno de los procesos individuales para mantener un buen balance de vapor.

Cuidar el sistema de distribución de vapor nos da una las mejores oportunidades de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña o casi nula. Dar entrenamiento cuidadosamente completo y a la vez apropiado al equipo de mantenimiento siempre será una buena inversión.

Fuga de vapor: en un sistema de distribución descuidado siempre encontraremos fugas en las tuberías, en válvulas, en los equipos de proceso, en las trampas de vapor, en las bridas o conexiones especiales. Arreglar o quitar fugas es una oportunidad de ahorrar energía y dinero, además esto es muy simple y el costo es muy bajo y muchas veces el hacerlo no cuesta nada.

Trampas de vapor: cuando no se tiene un programa de mantenimiento para las trampas de vapor, es común encontrar en la instalación de 15% a 20% de las trampas funcionando inadecuadamente todo el tiempo.

Aislamientos: al instalar aislamientos, algunas plantas han demostrado un rango de ahorros potenciales desde 3% hasta valores tan altos como 13% del total y puede bajar la cantidad de combustible utilizado, reduciendo al mismo tiempo las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 6%.

Para el cuidar el sistema de distribución de vapor se recomienda lo siguiente:

- Establecer un programa para regular la inspección, prueba y reparación de las trampas de vapor. El personal de mantenimiento y de operación deberá ser entrenado adecuadamente en las técnicas para hacer pruebas a las trampas de vapor. Cuando se requiera hacer pruebas de ultrasonido, contratar personal adecuadamente entrenado.
- Revisar que no existan fugas de vapor en las tuberías.
- Inspeccionar la operatividad de las válvulas de control.
- Mantenga un sistema rutinario para identificar líneas de vapor que son poco o rara vez utilizadas y que puedan ser removidas del servicio.

### **3.3.1. Control de operación diaria**

Cuando se habla de control de operación diaria obliga a que se debe supervisar el funcionamiento del sistema diariamente. Esto, como parte de la rutina diaria de los operadores. No se refiere a control de operación de la caldera. Por otro lado se debe revisar diariamente lo siguiente:

- La existencia de piezas más usadas con frecuencia;
- Mantener el equipo eléctrico en buen estado;
- Enfatizar el orden y limpieza en el cuarto de calderas;
- Mantener los registros de consumo de combustible;
- Chequeo del nivel de agua;

- Purga de la columna de agua;
- Registro de temperatura y presión de operación diaria;
- Registro de presión de aceite y temperatura.

### **3.3.2. Fichas de control de la caldera**

Con el objeto de llevar un control de las calderas se propone revisar y llevar un archivo. El encabezado describe el asunto, la fecha, el número de la caldera y el nombre de la persona que elabora la supervisión. Los datos de importancia que se consignan en la ficha de control son los siguientes:

- Temperatura del diesel: debe estar en el rango de 150° F a 160° F;
- Presión del diesel: lectura del manómetro que indica la presión a la cual la bomba impulsa el diesel;
- Nivel del aceite del compresor: lectura tomada del nivel;
- Nivel del agua de la caldera: indica el nivel del agua en la caldera. Si se eleva mucho el vapor sale muy húmedo. La lectura debe estar cercana a 2,5;
- Bomba de alimentación: identifica al grupo que pertenece y su número de identificación, en los paneles de control;

- Presión de vapor: Se coloca la lectura del manómetro, dependerá de la demanda, aunque de acuerdo al funcionamiento normal de la caldera está regulada al rango de 110 a 115 psi;
- Temperatura de la chimenea: indicación de la temperatura de salida de los gases, la cual es importante para revisar los niveles de exceso de aire, oxígeno y combustible.

A continuación se describe en una ficha de control diario de la caldera que puede ser utilizada para guardar el registro de información y utilizar dicha información para la toma de decisiones en sus respectivos mantenimientos.

Tabla XVIII. **Ficha de control diario de calderas**

| <b>Ficha de control diario de calderas</b> |                               |          |            |          |             |
|--|-------------------------------|----------|------------|----------|-------------|
| Asunto: Control de calderas                |                               |          |            |          |             |
| Fecha: Fecha de elaboración                |                               |          |            |          |             |
| Caldera No.                                |                               |          |            |          |             |
| Supervisor: Nombre                         |                               |          |            |          |             |
| No.  | Descripción                   | Jornada  |            |          | Comentarios |
|  |                               | Matutina | Vespertina | Nocturna |             |
| 1  | Temperatura del combustible   |          |            |          |             |
| 2  | Presión del combustible       |          |            |          |             |
| 3  | Nivel de aceite del compresor |          |            |          |             |
| 4  | Nivel de agua de la caldera   |          |            |          |             |
| 5  | Bomba de alimentación         |          |            |          |             |
| 6  | Presión de vapor              |          |            |          |             |
| 7  | Temperatura de la chimenea    |          |            |          |             |
| Observaciones:                             |                               |          |            |          |             |

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.3. Ficha de control de gases

Con el objeto de llevar un control sobre las emisiones de gases que produce la combustión en la caldera, se propondrá mantener un seguimiento para salvaguardar un registro por medio de la ficha de control de gases de la variabilidad de los parámetros contaminantes que son producto de la combustión y los cuales son expulsados por la chimenea de la caldera.

A continuación se describe en una ficha de control diario de la caldera.

Tabla XIX. **Ficha de control diario de gases**

| <b>Ficha de control de gases de chimenea</b> |                         |        |       |             |             |
|--|-------------------------|--------|-------|-------------|-------------|
| Asunto: Control de gases en la chimenea      |                         |        |       |             |             |
| Fecha: Fecha de elaboración                  |                         |        |       |             |             |
| Supervisor: Nombre                           |                         |        |       |             |             |
| No.  | Descripción             | ppm    |       |             | Comentarios |
|  |                         | Inicio | Final | Dimensional |             |
| 1  | Oxígeno                 |        |       | %           |             |
| 2  | Monóxido de carbono     |        |       | %,ppm       |             |
| 3  | Monóxido de nitrógeno   |        |       | ppm         |             |
| 4  | Dióxido de azufre       |        |       | %           |             |
| 5  | Presión / tiro          |        |       | bar         |             |
| 6  | Temperatura de gases    |        |       | celsius     |             |
| 7  | Temperatura de ambiente |        |       | celsius     |             |
| 7  | Otros                   |        |       |             |             |
| Observaciones:                               |                         |        |       |             |             |

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Inspección de fugas en la tubería

Dada la existencia de fugas que actualmente se encuentran en el sistema de vapor supone una pérdida de rendimiento del sistema y a su vez la

corrección del problema implica una parada de la caldera cuyas repercusiones económicas superan con creces cualquier otra consideración.

Los niveles de presión que actualmente se manejan en los circuitos de las calderas de vapor normalmente empieza una fuga como un pequeño agujero por el que empieza a salir un chorro de vapor, sin embargo nunca se tiene claro cómo puede terminar el proceso en caso de que se deje mucho tiempo sin tratar.

Posiblemente se dejan algunas consideraciones más en el tintero, pero en cualquier caso las anteriormente expuestas justifican más que de sobra la necesidad de disponer en las calderas de procedimientos de inspección lo más precoz posible de las fugas, así como de medios de seguimiento fiables de la evolución de las mismas.

Un dispositivo utilizado desde el principio de la existencia de calderas de vapor que se sigue utilizando actualmente, es el del detector óptico, acústico y térmico. La capacidad de detección de un hombre experto que conoce a fondo su caldera, mirando, escuchando y tocando esta lo suficientemente probada como para no desdeñarla.

Su eficacia y precisión dependen del número de horas que lleve funcionando continuamente, lo que implica la necesidad de un periodo de parada diario para enfriar, recalibrar y reponer facultades. Su fragilidad es también muy alta y caso de accidente importante la pérdida global que supone es demasiado importante como para asumirla.

En definitiva, que aún contando con el técnico de mantenimiento para tomar control del problema una vez detectado, la disponibilidad de un sistema

automático de detección y seguimiento de las fugas es un elemento a considerar muy seriamente en la inspección de fugas en la tubería.

Una propiedad común a toda fuga de vapor es la de generación de sonido. Las características de dicha emisión acústica varían sustancialmente de unos casos a otros, e incluso lo hacen a lo largo de la evolución temporal de uno determinado.

En cualquier caso la experiencia demuestra que el sonido de una fuga de vapor tiende a ser un ruido, es decir un sonido cuya energía está repartida por igual a lo largo de todo el espectro de frecuencias que lo componen, cuyo nivel acústico desde que aparece y hasta que se corrige, siempre crece a lo largo del tiempo.

El sonido producido por una fuga se propaga tanto por el aire como por la estructura de la caldera, siendo posible por tanto detectar la presencia de fugas en los diversos puntos. Sin embargo, en cualquier sistema que se construya basado en este principio hay que considerar la presencia de otros sonidos que interfieren en el proceso de detección como son el propio ruido de la combustión.

El ruido de los motores, ventiladores y compresores situados en diversos puntos del área de calderas, así como la estructura y los ruidos producidos por los operarios de servicio en las acciones de operación y mantenimiento dan paso a no percibir en algunos casos la fuentes de fuga.

Las fugas son tan evidentes que hay que corregirlas inmediatamente. Llegados a este punto y tal como ya se ha dicho, aunque los niveles absolutos

de ruido medidos no son significativos en sí, la inspección por parte del operador es tan importante para un manejo eficiente del vapor.

Para la inspección de fugas en la tubería se recomienda tomar en cuenta la estructura del sistema de vapor, esto determina por un lado cuales son las zonas de mayor riesgo de fugas. Por otra parte, dentro de las zonas con mayor o menor densidad de tubos, la experiencia previa puede ayudar mucho a determinar donde ha habido una mayor incidencia de averías y por tanto donde el riesgo es mayor.

La inspección y detección precoz de cualquier fuga supone una importante reducción económica de los costos de operación paralelamente se incrementa los niveles de seguridad para el personal de mantenimiento.

### **3.3.5. Inspección de trampas de vapor**

Los costos de la energía han hecho que el vapor sea costoso para desperdiciar. El estado de las trampas de vapor se determinó que un 30% y un 40% de sus trampas de vapor no funcionan correctamente. Los problemas ocasionados por las trampas defectuosas van desde bajas eficiencias térmicas por condensado en el vapor hasta golpe de ariete.

Utilizando una inspección minuciosa se puede determinar claramente si existe o no flujo de vapor pues el flujo turbulento genera onda. Adicionalmente utilizando el mismo principio se pueden inspeccionar válvulas con problemas.

Para la inspección de las trampas de vapor se recomienda siempre que falle una trampa de vapor y no existe una razón aparente para esa falla, se debe de observar cuidadosamente la descarga de la trampa. Esta es una tarea

sencilla si es que la trampa se ha instalado con una salida para pruebas; si este no es el caso, entonces será necesario desconectar la tubería de salida para observar la descarga. Los siguientes enunciados nos ayudan a determinar la situación:

### **3.3.5.1. Trampa fría y sin descarga**

Si la trampa no está descargando ningún condensado, entonces;

- **No llega condensado o vapor a la trampa**
  - El filtro antes de la trampa está tapado
  - Fugas en la tubería de entrada a la trampa
  - Tubería o codos tapados
- **Mecanismo desgastado o defectuoso**
  - Se debe de reparar o reemplazar lo que sea necesario
- **El cuerpo de la trampa está lleno de suciedad**
  - Se debe de instalar un filtro, o remover la suciedad en donde se está generando

- **Para trampas IB, el venteador en el balde está lleno de suciedad. Se evita mediante**
  - La instalación de un filtro
  - Aumento ligero del tamaño del venteador
  - El uso de un alambre limpiador en el venteador del balde
  
- **Para trampas F & T**
  - Si el venteador de aire no está funcionando en forma correcta. Es muy probable que esté trabado por el aire
  
- **Para trampas termostáticas**
  - Parte del fuelle se puede romper debido al impacto hidráulico, lo que causaría que la trampa falle cerrada
  
- **Para trampa de disco**
  - Puede ser que la trampa se instaló invertida

### **3.3.5.2. Trampa caliente y sin descarga**

No está llegando condensado a la trampa, si

- La trampa se instaló más arriba que una válvula de *bypass* con fuga

- El tubo de drenaje por sifón en un tanque está roto o dañado
- Vacío en el serpentín del calentador de agua evita el drenaje. Se debe de instalar un rompedor de vacío entre el intercambiador de calor y la trampa.

### **3.3.5.3. Pérdida de calor**

Si la trampa está dejando escapar vapor vivo, se puede deber a cualquiera de los siguientes problemas:

- La válvula no cierra en su asiento
- Pedazo de óxido incrustado en el orificio
- Partes desgastadas

#### **Trampas IB pierden su ciclo**

- Si la trampa está descargando vapor vivo. Ciérrase la válvula de entrada por unos minutos. Vuélvase a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.
- Típicamente la pérdida de calor en una trampa se debe a cambios frecuentes y repentinos en la presión del vapor. En estos casos se recomienda la instalación de una válvula check. Cuando sea posible se debe de instalar la trampa muy por debajo del punto de drenado.

#### **3.3.5.4. Flujo continuo**

Si una trampa IB o una de disco está descargando continuamente o si una trampa F&T una termostática descarga a su máxima capacidad, se debe de revisar lo siguiente:

- **Trampa demasiado pequeña**
  - Una trampa más grande o trampas adicionales se debe de instalar en paralelo.
  - Trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. Instálese un mecanismo interno del tamaño adecuado.
  
- **Agua en condiciones anormales**
  - La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe de instalar un separador o se deben de corregir las condiciones del agua de alimentación a las calderas.

#### **3.3.5.5. Calentamiento lento**

Cuando la trampa está operando de manera correcta pero la unidad no calienta de forma adecuada, entonces:

- Una o más de las unidades están en cortocircuito. La solución es instalar una trampa en cada unidad.

- Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aún cuando parezca que está descargando el condensado de una manera eficiente. Se debe de probar trampas de un tamaño más grande.
- La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente, o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe de usar un venteador de aire adicional.

### **3.3.5.6. Problemas misteriosos**

Si la trampa está funcionando de manera satisfactoria cuando descarga a la atmósfera pero se tienen problemas cuando su descarga se conecta a una tubería de retorno, se debe de revisar lo siguiente:

- La contrapresión puede estar disminuyendo de capacidad de la trampa
- La tubería de retorno es demasiado pequeña – trampa caliente
- Otras trampas están descargando vapor – trampa caliente
- El venteador atmosférico en el receptor del condensado está tapado – trampa fría o caliente
- La tubería de retorno está obstruida – trampa caliente
- Vacío excesivo en la tubería de retorno – trampa fría

### **3.3.5.7. Problemas imaginarios**

Si se tiene la impresión de que se está escapando vapor cada vez que la trampa descarga, recuérdese que el condensado caliente genera vapor flash al ser descargado a una presión menor pero generalmente se condensa más rápido en la tubería de retorno.

### **3.4. Mantenimiento fuera de operación**

Con el mantenimiento fuera de operación se encuentran las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejorar la calidad del vapor y mayor productividad.

Los tópicos que se proponen en esta auditoría son:

- Efectuar el plano isométrico del sistema de vapor y condensado actual con alto nivel de detalle. Evaluación detallada del sistema para determinar las oportunidades de mejora en:
  - Selección y distribución de tuberías
  - Purga del condensado de tuberías y equipos
  - Instalación y selección de trampas
  - Aprovechamiento de condensado y aislamiento térmico

- Identificación de las trampas para vapor en sitio con placa de acero inoxidable y en el dibujo del sistema de vapor. Así como la codificación de las tuberías de distribución de servicio de vapor.
- Verificación del funcionamiento de las trampas para vapor y componentes del sistema, con equipo apropiado, en donde se especifican cada una de las trampas en cuanto a sus características de desempeño. Además permite graficar los resultados del chequeo y llevar el control estadístico del sistema de trampas.
- Reportar los problemas encontrados y las respectivas propuestas para la solución del mismo. En los casos donde se ameriten, se tomarán fotografías digitales para soportar el reporte de la falla y se hará un esquema para ilustrar la solución a dicha falla, incluyendo la selección de los equipos necesarios para este fin.

Las ventajas de esta aplicación son las siguientes:

- La descripción total del sistema de vapor y condensado e identificación de las oportunidades de mejora.
- La solución a los problemas encontrados de acuerdo a un criterio técnico confiable.
- Importantes mejoras en el sistema que generaran grandes beneficios económicos aumentando la productividad de su planta por la reducción de los costos operacionales.
- Mayor eficiencia en los servicios de vapor.

- La programación de las actividades de mantenimiento correctivo.
- Jerarquización de acuerdo a sus prioridades.

### **3.4.1. Mantenimiento de la caldera**

Uno de los objetivos de toda industria que posee caldera de cualquier índole, es el de producir más vapor al menor costo, además de entregar su producción al tiempo acordado; entiéndase todo el material hospitalario. A esta tendencia todos los gerentes, ingenieros y demás personal se han visto en la obligación de buscar mecanismos que permitan que esta ideología sea totalmente viable.

Con el mantenimiento de la caldera, se busca mantener al equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento. Es por ello que no debe olvidar que el mantenimiento debe expresarse como un sistema organizado que permita el mejor aprovechamiento del medio productivo.

#### **3.4.1.1. Mantenimiento preventivo**

Para que las calderas tengan un funcionamiento eficiente se propone realizar acciones en forma lógica y sistemática con la finalidad de mantenerla trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las posibilidades de ocurrencias de fallas; es decir, prolongar el tiempo de vida útil de la caldera. Este mantenimiento puede ser de naturaleza menor, como simples reparaciones, o mayor, como una revisión general.

### **3.4.1.2. Mantenimiento correctivo**

Así mismo se propone intervenir inmediatamente después de ocurrida una falla. Por lo general estas fallas acarrearán retrasos en la producción y en consecuencia pérdidas para la organización.

### **3.4.1.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo es recomendable para las calderas ya que este procedimiento lógico y sistemático determina la ocurrencia de una falla que esté por presentarse dentro del sistema. Las responsabilidades del Departamento de Mantenimiento son:

- Mantener en buen estado las calderas, las partes eléctricas y el sistema de tuberías.
- Incentivar a los integrantes de dicho departamento a capacitarse en temas que les corresponden.
- Innovar los programas de mantenimiento a fin de que no se produzcan pérdidas ni retrasos en los trabajos.
- Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad industrial.
- Llevar a cabo en conjunto con la administración y la gerencia la programación y ejecución del programa “*over all*” en las calderas y el sistema completo para así obtener mayores y mejores servicios en menos actividades de mantenimiento, mayor producción con menos paradas y lograr mayor confianza en el recurso humano disponible.

No debe olvidarse que la caldera es un dispositivo utilizado para generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

Este funcionamiento hace que la caldera debe tener un mantenimiento, por lo anterior mencionado se propone a la gerencia de mantenimiento tomar en cuenta que los principales problemas en este tipo de circuitos son los siguientes:

- Aparición de corrosión en el sistema pre-caldera y caldera por la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación.
- Corrosión en la línea de vapor condensado por la presencia de anhídrido carbónico debido a la descomposición térmica en caldera de carbonatos y bicarbonatos.
- Incrustaciones por presencia de dureza en el agua de alimentación.

Un programa de tratamiento integral recomendado para estos sistemas es el siguiente:

- Prevención de la corrosión en caldera mediante la aplicación de un producto que asegura un secuestro casi instantáneo de oxígeno. Su control se realiza mediante la determinación de sulfito residual libre en el agua de caldera debiendo estar comprendido entre 30 y 40 ppm.
- Prevención de la corrosión en el circuito de vapor condensado mediante la aplicación de un producto para neutralizar el bajo ph del condensado. Su

control es sencillo mediante la determinación del ph del condensado, el cual debe estar comprendido entre 8,3 - 9.

- Prevención de incrustaciones en el interior de caldera mediante la aplicación de un producto para evitar incrustaciones producidas por dureza en el agua de aporte, produciendo una precipitación controlada que se elimina en la purga.

Las ventajas de esta aplicación son las siguientes:

- Eliminación total del oxígeno evitando su efecto corrosivo sobre el circuito;
- Eliminación del dióxido de carbono evitando la aparición de picaduras;
- Ajuste del ph en el agua de alimentación al recuperar condensado;
- Prevención de las incrustaciones mejorando el rendimiento energético de la caldera;
- Ahorro de agua, optimizando la purga en caldera.

El chequeo recomendado de las calderas es el siguiente:

- Semanal: funcionamiento de los niveles de agua, verificar taponamiento en las purgas, limpieza mecánica de parrillas y tubos en el pirotubo, revisión del tablero eléctrico de control.
- Trimestral: funcionamiento de los niveles de agua, verificación del funcionamiento de la presión, verificación de los manómetros de la caldera

y la bomba del agua, verificar estado del termómetro de la chimenea, verificar disparándolas manualmente las válvulas de seguridad (a la presión de cierre). No se recomienda, bajo ninguna circunstancia, recalibrar las válvulas de seguridad en sitio, enviarlas a bancos de calibración especializados, para que les cambien el resorte.

- Semestral: revisar la curva de operación de la bomba del agua, que por desgaste no es capaz de mantener el nivel en la caldera. Con la válvula de salida cerrada, después del manómetro, prender la bomba y observar la presión en el manómetro (no hacerlo por un tiempo prolongado).
- Periódicos: en la parte interna de la caldera, destapando los “*manholes*” y “*handholes*” para inspeccionar la corrosión e incrustación, en la parte externa de los tubos del pírotubo. Establecer el período de esta verificación en coordinación con el fabricante de la caldera.

Es muy importante que el mantenimiento de la caldera sea realizado acorde a la fecha calendarizada. Lo siguiente es una recomendación de una calendarización sobre las partes de la caldera que deben recibir mantenimiento.

Tabla XX. **Propuesta de calendarización para mantenimiento de calderas**

| No. | Semanal   | Mensual   | Semestral                                  | Anual  |
|-----|---|---|--|--|
| 1   | Chequeo de válvulas de combustible                            | Inspeccionar el quemador                        | Limpieza de llaves para agua               | Limpieza de las superficies del hogar de la caldera      |
| 2   | Chequeo de la conexión entre combustible y aire               | Analizar combustión                             | Chequeo precalentador                      | Limpieza de recámara                                     |
| 3   | Chequeo de luces y alarmas de seguridad                       | Chequeo de levas                                | Inspección de Refractario                  | Limpieza de superficies en contacto con agua             |
| 4   | Chequeo de controles de operación y límites                   | Inspección de fugas de vapor en chimenea        | Limpieza de filtro de combustible          | Chequeo de tanque de almacenamiento de combustible       |
| 5   | Chequeo de controles de seguridad y entrelazados              | Inspección de puntos calientes                  | Limpieza de separador de agua / aceite     | Chequeo de los niveles de fluido en válvulas hidráulicas |
| 6   | Chequeo de operación de corte de agua                         | Repaso del procedimiento de purga de la caldera | Chequeo de alineamiento y acople de bombas | Chequeo de manómetros                                    |
| 7   | Chequeo de fugas, ruidos, vibraciones y condiciones inusuales | Chequeo del alimentador de aire                 | Resetear combustión                        | Reemplazo de válvulas de seguridad                       |
| 8   | Chequeo de operación de todos los motores                     | Chequeo de filtros                              | Inspección de interruptores de mercurio    | Chequeo de bombas de aceite                              |
| 9   | Chequeo general del proceso de combustión                     | Chequeo de sistema de combustible               |  | Chequeo de bombas de alimentación                        |
| 10  | Chequeo de los niveles de lubricante                          | Chequeo a máxima potencia                       |  | Chequeo de condensadores                                 |
| 11  | Chequeo de collarines   | Chequeo requerimientos de lubricación           |  | Chequeo del sistema de alimentadores para químicos       |
| 12  |   |   |  | Aseguramiento de terminales eléctricas                   |

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento desempeña una gran labor ya que permite utilizar las calderas el mayor tiempo posible de acuerdo como se ejecuta el cuidado.

Al carecerse de un buen mantenimiento de sus equipos que son los que le permiten procesar algunos de los servicios básicos, trae como consecuencia que las calderas puedan presentar fallas a corto y a largo plazo, estas fallas progresivamente afectan los objetivos de la institución.

Por esta razón hay que tomar el mantenimiento preventivo con suma importancia así como el correctivo, el predictivo y hacer un cronograma de sustento de las calderas para que se ejecute de la mejor manera que permita menos paros por mantenimiento, además hay que tener en cuenta que las personas o empleados que ejecuten este proceso estén bien preparadas y supervisadas estrictamente.

#### **3.4.2. Ficha de control de agua de alimentación**

El tratamiento del agua de alimentación es un aspecto al cual se debe prestar la mayor atención, si se quiere preservar las calderas y por ende la red de vapor para obtener la generación de vapor requerida en el proceso. Se propone que el agua de alimentación para calderas, debe cumplir con los siguientes pre-tratamientos mínimos:

- Precipitación
- Filtrar
- Suavización

- Desalcalinizarla
- Desmineralizarla
- Desaireación (química o física)

Los parámetros que se debe controlar en el agua de alimentación:

- PH: identifica el nivel de agresividad química del agua. En las purgas el PH debe estar entre 10 y 10,5; dentro de estos valores la caldera se conserva adecuadamente. Si el PH es mayor que 11 comienza un fenómeno indeseable, que es la fragilidad cáustica.
- Dureza total: indica la cantidad de sales minerales disueltas en el agua; una alta dureza en el agua de alimentación causa la formación de depósitos muy duros sobre las superficies de calentamiento y evaporación, llamados incrustaciones que disminuyen la eficiencia de producción de vapor y originan daños por rotura de tuberías.
- La dureza se contrarresta directamente sobre el agua de alimentación, antes de esta ingrese a la caldera, mediante el uso de equipos de operación sencilla, los suavizadores, que usan resinas de intercambio iónico; también se usan los inhibidores de dureza.
- Sólidos disueltos: el agua de alimentación para calderas debe ser traslúcida (baja turbidez), por consiguiente se debe contar con una planta general de tratamiento de agua cruda, que garantice una eficiente remoción de los sólidos en suspensión causantes de una alta turbidez; al

no removerlos previamente, ocasionan taponamientos en tuberías e incrustaciones dentro de la caldera.

- Contenido de hierro: el hierro presente en el agua de alimentación para calderas es corrosivo y debe eliminarse. El hierro se elimina mediante oxidación, floculación y filtración, en la planta de tratamiento de agua cruda.
- Oxígeno disuelto: se encuentra disuelto en el agua de alimentación y es completamente necesario retirarlo. De lo contrario produce el fenómeno conocido como "*pitting*" en las tuberías de evaporación dentro de las calderas, que se manifiesta como "huecos" o manchas fácilmente reconocibles.

Cuando el agua de alimentación tiene bastante oxígeno disuelto, el daño de las tuberías es muy rápido. El oxígeno se retira del agua usando desaireadores, químicos o precalentando el agua.

A continuación una ficha para llevar una bitácora del agua de alimentación.

Tabla XXI. **Ficha de control diario de agua de alimentación**

| <b>Ficha de control de agua de alimentación</b> |                                   |        |       |             |            |
|---|-----------------------------------|--------|-------|-------------|------------|
| Asunto: Control de agua de alimentación         |                                   |        |       |             |            |
| Fecha: Fecha de elaboración                     |                                   |        |       |             |            |
| Supervisor: Nombre                              |                                   |        |       |             |            |
| No.   | Descripción                       | ppm    |       |             | Comentario |
|   |                                   | Inicio | Final | Dimensional |            |
| 1   | PH                                |        |       | ppm         |            |
| 2   | Dureza                            |        |       | ppm         |            |
| 3   | Concentración de oxígeno          |        |       | ppm         |            |
| 4   | Dióxido de carbono                |        |       | ppm         |            |
| 5   | Silicatos                         |        |       | %           |            |
| 6   | Sólidos disueltos                 |        |       | ppm         |            |
| 7   | Sólidos suspendidos               |        |       | ppm         |            |
| 7   | Concentración de materia orgánica |        |       | ppm         |            |
| Observaciones:                                  |                                   |        |       |             |            |

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. **Ficha de control de mantenimiento**

Mediante las fichas de control de las trampas de vapor se evalúan el rendimiento energético, aislamiento térmico, fugas de vapor, corrosión, eficiencia del drenaje de condensado, permeabilidad de filtros y control de temperatura entre otros. Con esta auditoría se encuentran las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejor calidad de vapor y mayor productividad.

Con esta propuesta se pretende la identificación de las oportunidades de mejora y resolver los problemas encontrados de acuerdo a una ficha de control.

A continuación se presenta una ficha de control para trampa de vapor con datos de importancia que servirán para llevar un archivo de las mismas.

Tabla XXII. **Ficha de control de mantenimiento de trampas de vapor**

| <b>Ficha de control de mantenimiento de trampas de vapor</b> |                          |                 |                   |                 |                   |
|--|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Asunto: Control de trampas de vapor                          |                          |                 |                   |                 |                   |
| Fecha: Fecha de elaboración                                  |                          |                 |                   |                 |                   |
| Trampas de vapor No.   |                          |                 |                   |                 |                   |
| Supervisor: Nombre   |                          |                 |                   |                 |                   |
|  |                          | <b>Jornada</b>  |                   |                 | <b>Comentario</b> |
| <b>No.</b>   | <b>Descripción</b>       | <b>Matutina</b> | <b>Vespertina</b> | <b>Nocturna</b> |                   |
| 1  | Rendimiento energético   |                 |                   |                 |                   |
| 2  | Aislamiento térmico      |                 |                   |                 |                   |
| 3  | Fugas de vapor           |                 |                   |                 |                   |
| 4  | Corrosión                |                 |                   |                 |                   |
| 5  | Eficiencia de drenaje    |                 |                   |                 |                   |
| 6  | Permeabilidad de filtros |                 |                   |                 |                   |
| 7  | Control de temperatura   |                 |                   |                 |                   |
| 7  | Otros                    |                 |                   |                 |                   |
| Observaciones:   |                          |                 |                   |                 |                   |

Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Implementación de un calentador**

Para poder optimizar de mejor manera la eficiencia de la caldera y así mismo, significativamente la red de distribución de vapor se propone colocar un calentador que pueda aumentar la eficiencia en el consumo de combustible en la caldera y aumentar la presión de trabajo a 125 psi, y así evitar al día siguiente el alto consumo de energía para satisfacer la demanda media de 80 psi en caso que así se requiera por las válvulas reguladoras en la toma de cada equipo.

### 3.6. Costo por mantenimiento

Para poder realizar el mantenimiento sin atrasos por falta de materiales es necesario crear un abastecimiento de materiales, de esta forma se tendrá la seguridad de tener los materiales necesarios para cualquier reparación por causa del mantenimiento o por cualquier emergencia que se pueda presentar en la red de distribución de vapor. Por lo que se estima el costo de mantener el *stock* de materiales además el colocar un serpentín a la chimenea por lo cual se muestran costos aproximados a continuación:

Tabla XXIII. Costo de *stock* para mantenimiento

| Elementos                       | Cantidad | Costo U.   | Total       |
|---------------------------------|----------|------------|-------------|
| Válvulas de globo 2"            | 1        | Q 962,00   | Q 962,00    |
| Válvulas de globo 1 1/2"        | 1        | Q 616,00   | Q 616,00    |
| Válvulas de globo 1 1/4"        | 3        | Q 423,50   | Q 1 270,50  |
| Válvulas de globo 1"            | 1        | Q 324,50   | Q 324,50    |
| Válvulas de globo 3/4"          | 8        | Q 217,80   | Q 1 742,40  |
| Válvulas de globo 1/2"          | 1        | Q 169,40   | Q 169,40    |
| Válvulas de compuerta 3"        | 1        | Q 1 819,07 | Q 1 819,07  |
| Válvulas de bola 1 1/2"         | 2        | Q 155,00   | Q 310,00    |
| Válvulas de bola 1 1/4"         | 1        | Q 100,00   | Q 100,00    |
| Válvulas de bola 1"             | 1        | Q 45,00    | Q 45,00     |
| Válvulas de cheque 1 1/2"       | 1        | Q 403,78   | Q 403,78    |
| Válvulas de cheque 1 1/4"       | 1        | Q 327,71   | Q 327,71    |
| Válvulas de cheque 3/4"         | 9        | Q 158,00   | Q 1 422,00  |
| Filtros de 2"                   | 1        | Q 375,08   | Q 375,08    |
| Filtros de 1 1/2"               | 1        | Q 348,28   | Q 348,28    |
| Filtros de 1 1/4"               | 1        | Q 275,47   | Q 275,47    |
| Trampa cubeta invertida de 3/4" | 4        | Q 910,00   | Q 3 640,00  |
| Trampa cubeta invertida de 1/2" | 1        | Q 1 371,00 | Q 1 371,00  |
| Costo total                     |          |            | Q 15 503,19 |

Fuente: elaboración propia.



## 4. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS A LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

### 4.1. Instalación de trampas de vapor y aislamiento

De acuerdo a la situación actual descrita en el capítulo 2, se instalarán 6 trampas de vapor nuevas y 5 metros de aislamiento en las tuberías. A continuación se describen los cálculos.

- Cálculo de gasto de combustible con una eficiencia del sistema de 60%.  
Temperatura inicial de 125°F. Temperatura final de 380°F.

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Donde:

$$Q_1 = \text{calor sensible } Q' + (T_f - T_o)$$

$$1 \text{ BTU} / (\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}) * (380 - 125)^\circ\text{F} = 255 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$$Q_2 = \text{Calor latente. Tabla de vapor saturado} = 820,64 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$$\text{Entonces } Q_t = 255 + 820,64 = 1\,075,64 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$$\text{Poder calorífico del bunker} = 153\,600 \text{ BTU} / \text{galón}$$

$$\text{Eficiencia en el sistema} = 60\%$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto de combustible por libra} &= Q_t / \text{poder calorífico por eficiencia} \\ &= 1\,075,64 / (153\,600 \text{ BTU} / \text{lb} * 0,60) \end{aligned}$$

= 0,01167 galones por libra

El precio promedio por galón de combustible es de Q 28,10

Entonces  $0,01167 * 28,10 = Q0,3279 / lb.$

- Haciendo el mismo cálculo para una eficiencia de 80% del sistema con instalaciones de trampas y aislamientos y aumentando la presión a 125 psi con  $T_o = 200^{\circ}F$  y  $T_f = 420^{\circ}F$

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Donde:

$$Q_1 = \text{calor sensible } Q' + (T_f - T_o)$$

$$1 \text{ BTU} / (\text{lb} * ^{\circ}F) * (420 - 200)^{\circ}F = 220 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$Q_2 = \text{Calor latente.}$

Tabla de vapor sobrecalentado = 1 170,54 BTU / lb

Entonces  $Q_t = 220 + 1 170,54 = 1 390,54 \text{ BTU} / \text{lb}$

Poder calorífico del bunker = 153 600 BTU / galón

Eficiencia en el sistema = 90%

Gasto de combustible por libra =  $Q_t / \text{poder calorífico por eficiencia}$

$$= 1 390,54 / (153 600 \text{ BTU} / \text{lb} * 0,90)$$

$$= 0,01005 \text{ galones por libra}$$

El precio promedio por galón de combustible es de Q 28,10

Entonces  $0,01131 * 28,10 = Q0,3179 / lb.$

Promedio de consumo de libras vapor de cuatro meses = 1 527 848,5

Costo de eficiencia de 60% de sistema actual y generando vapor saturado =  $1\,527\,848,50 * 0,3279 / \text{lb}$  = Q500 981,52

Costo de eficiencia de 90% del sistema con mejoras y generación de vapor sobrecalentado=  $1\,527\,848,50 * 0,2826 / \text{lb}$  = Q 431 853,42

Diferencia Q 500 981,52 - Q 431 853,42 = Q 69 128,10

Existe evidencia numérica que se puede tener un ahorro de eventual de Q 69 128,10 cuatrimestral mejorando la eficiencia del sistema y generando vapor sobrecalentado mejorando de un 60% a 90% en el sistema incrementando así la eficiencia en la red.

#### **4.2. Instalación de precalentador en la caldera**

Con la colocación de un precalentador se podrá aumentar la eficiencia de la caldera y con ello conseguir una disminución del costo monetario en la adquisición del combustible. A continuación se presentan los cálculos esperados:

- Eficiencia de combustión

La eficiencia de combustión se obtiene revisando los valores de temperatura de los gases de chimenea y el porcentaje de O<sub>2</sub>.

eficiencia de combustión a 400°F y 6% de oxígeno= 86%

- Eficiencia de caldera

Eficiencia de caldera = eficiencia de combustión - pérdidas por radiación /convección – pérdidas por purga.

$$\text{Ef. caldera} = 86\% - 2,5\% - 1\% = 82,5\%$$

- Cálculo de la temperatura de agua de alimentación

Base de cálculo: 1kg de agua de alimentación

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{salida}}$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$$

$$m_1 = 0,2 \text{ kg} \quad T_1 = ? \quad m_2 = 0,8 \text{ kg} \quad T_2 = 70^\circ\text{C} \quad h_2 = 293,07 \text{ kJ/kg}$$

$$m_3 = 1 \text{ kg} \quad T_3 = 60^\circ\text{C} \quad h_3 = 251,18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = (m_3 h_3 - m_2 h_2) / m_1 = (1 \text{ kg} * 251,18 \text{ kJ/kg} - 0,8 \text{ kg} * 293,07 \text{ kJ/kg}) / 0,2 \text{ kg}$$

$$h_1 = 83,62 \text{ kJ/kg, por lo consiguiente} \quad T_1 = 19,9^\circ\text{C}$$

- Estimación de vapor producido

$$T_{\text{inicial}} = 100^\circ\text{C} = 185^\circ\text{F} \quad h_{\text{inicial}} = 107,99 \text{ Btu/lbm}$$

Vapor sobrecalentado

$$P_{\text{final}} = 100 \text{ psig} + 15 \text{ psig} = 115 \text{ psia} \quad h_{\text{final}} = 1190,0 \text{ Btu/lbm}$$

$$h_{\text{vapor}} = h_{\text{final}} - h_{\text{inicial}} = (1190,0 - 107,99) \text{ Btu/lbm} = 1082,01 \text{ Btu/lbm}$$

$$\text{Contenido energético de diesel} = 142500 \text{ Btu/gal}$$

$$M_{\text{diesel}} = 20 \text{ gal/hora}$$

$$Q = 0,825 (142500 \text{ Btu/gal} * 20 \text{ gal/hora}) = 2351250,50 \text{ Btu/hora}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} * h_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / h_{\text{vapor}} = (2351250,50 \text{ Btu/hora}) / (1082,01 \text{ Btu/hora})$$

$$m_{\text{vapor}} = 2173,039 \text{ lbm/hora}$$

- Diesel requerido por 1 000 lbm vapor sobrecalentado  
 $(1\ 000\ \text{lbm vapor}) (20\ \text{gal/ hora}) / (2\ 173,039\ \text{lbm vapor / hora}) = 9,2037$   
galón; costo (Q 28,00 galón diesel) \* 9,2037 galón diesel =  
Q 257,70

En la siguiente tabla se muestra la comparativa del consumo de combustible que puede ahorrarse al momento de estar implementadas las mejoras propuestas.

Tabla XXIV. **Comparativa de costo combustible cuatrimestral**

| No. | Opción   | Combustible        |
|-----|--|--------------------|
| 1   | Estado actual con la generación de vapor saturado                                | Q 500 981,52       |
| 2   | Estado futuro con las propuestas de mejoras y generación de vapor sobrecalentado | Q 431 853,42       |
|     | <b>Total</b>   | <b>Q 69 128,10</b> |

Fuente: elaboración propia.

Como resultado de la aplicación de la propuesta, se obtiene un ahorro cuatrimestral de Q 69 128,10 por lo que en promedio mensual es Q 17 282,02 y con una proyección anual de Q 207 384,3

#### 4.3. **Análisis de costo de mejoramiento**

De acuerdo a los precios del mercado, se hace una descripción de los costos del equipo y su instalación.

Tabla XXV. **Costos de equipo e instalación de mejoras**

| Descripción                                 | Unidades | Precio unitario (Q.) | Precio total (Q.)  |
|---|----------|----------------------|--------------------|
| Trampa de vapor termodinámica               | 6        | 2 500,00             | 15 000,00          |
| Instalación                                 | 6        | 500,00               | 3 000,00           |
| Aislamiento e instalación                   | 5 m.     | 2 000,00             | 2 000,00           |
| Material ( acero carbonado) serpentín       | 1        | 5 250,00             | 5 250,00           |
| Fabricación acorde a dimensiones, serpentín | 1        | 8 750,00             | 8 750,00           |
| Montaje e instalación, serpentín            | 1        | 3 500,00             | 3 500,00           |
| <b>Total</b>                                |          |                      | <b>Q 37 500,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar la inversión será recuperada en el segundo mes después de haberse mejorado el sistema, ahorrando Q 17 282,02 al mes y con una inversión total inicial de Q. 37 500,00.

#### **4.4. Uso eficiente de la instalación**

La instalación de los sistemas de vapor, como tuberías y accesorios deben tener un uso adecuado, cuando se habla de eficiencia, no debe existir ningún desperdicio tanto del vapor como de las instalaciones.

Se debe considerar el recuperar el 95% del vapor y condensado de la línea mediante un buen diseño del sistema de recuperación de condensado y vapor flash.

Actualmente en el sistema de generación-distribución en conjunto el uso ineficiente de la energía significa un aprovechamiento tan bajo como del 40% de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera, en lugar de un 70% como podría ser en el caso de un sistema optimizado.

La ineficiencia de los sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implica también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión.

La Tabla XXVI muestra, en porcentajes, el incremento potencial en eficiencia que puede ser alcanzado al aplicar algunas medidas de eficiencia energética en las diferentes áreas específicas de generación, operación y mantenimiento y distribución.

**Tabla XXVI. Incremento potencial de la eficiencia en los sistemas de generación y distribución de vapor.**

| Medidas que se pueden aplicar en cada una de las áreas específicas del sistema de generación y distribución de vapor. | Incremento potencial de la eficiencia, de cada una de las medidas aplicadas en las diferentes áreas específicas. |
|---|--|
| Mantenimiento de las calderas   | 1-2%   |
| Equipos de recuperación de calor  | 2-4%   |
| Monitoreo y control de las emisiones  | 1-2%   |
| Tratamiento de agua   | 10-12%   |
| Retorno de condensados  | 5-10%  |
| Control de carga  | 3-5%   |
| Fugas de vapor  | 3-5%   |
| Trampa de vapor   | 10-15%   |
| Aislamiento térmico   | 5-10%  |

Fuente: [www.armstrong-intl.com/products/traps](http://www.armstrong-intl.com/products/traps).

#### **4.5. Procedimiento de inspección y evaluación de las trampas de vapor**

Con la inspección y evaluación de las trampas de vapor se encuentra las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejor calidad del vapor y mayor productividad. El alcance de esta inspección del sistema de vapor abarca:

- Chequeo de trampas y componentes del sistema;
- Identificación de trampas fallando con etiqueta “Reporte de Falla”;
- Revisión de la instalación (aislamientos térmicos, tuberías, etc) reporte de fallas;
- Auditoria de fugas e identificación en sitio con etiqueta “Reporte de Falla”;
- Mantenimiento menor (purga del sistema);
- Emisión de reporte de operación de trampas, apoyándose en ilustraciones gráficas (fotos) y dibujos esquemáticos para la descripción de fallas;
- Programa de mantenimiento para la solución a los problemas encontrados;
- Actualización de los planos del sistema de vapor y condensado;
- Capacitación del personal, se debe incluir material de apoyo para cada participante, los temas que se proponen son:
  - “Trampas selección y mantenimiento” dirigido al personal de mantenimiento
  - “Uso eficiente del vapor” dirigido a todo el personal de planta: ingenieros, supervisores y operadores

- “Operación de la sala de calderas” dirigido a supervisores, ingenieros responsables de la sala de calderas, personal de mantenimiento y operadores de calderas.

Generalmente, la mayor parte de las mejoras están después de la generación de vapor, esto es, en la operación y mantenimiento y en el sistema de distribución. En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando inadecuadamente y por lo tanto, es donde se tienen pérdidas de vapor, por lo que son estas áreas las que nos ofrecen oportunidades de recuperar calor a través del uso de condensadores, trampas de vapor, retorno de condensados e intercambiadores de calor.

#### **4.5.1. Método de inspección**

El método para inspección a ser implementado será mediante temperatura el cual consiste en verificar el funcionamiento de las trampas de vapor por medio de la medición de temperaturas en la entrada y descarga de ellas.

#### **4.5.2. Métodos de evaluación**

El método de evaluación para su implementación será con la evaluación de un estetoscopio, método bien establecido para detectar el funcionamiento de una trampa. Consiste en escuchar por medio de este instrumento, el sonido que hace la trampa al operar. Consiste en una sonda metálica, que al ponerla en contacto con la trampa de vapor, transmite las vibraciones a los auriculares a través de una membrana. El estetoscopio empleado en estos casos es un aparato similar al usado por los médicos y es de utilidad para detectar funcionamientos anómalos o averías en las trampas de vapor.

#### **4.5.3. Evaluación estándar en disco**

Se realiza usando unos pequeños detectores de mano o dispositivos que son otra manera rápida y cómoda de revelar las fugas accesibles. Los dispositivos electrónicos están equipados con sensores de oxidación catalítica y conductividad térmica diseñados para manifestar la presencia de gases específicos.

Los dispositivos electrónicos de gas pueden usarse en aberturas grandes que no pueden mostrarse con jabón. La detección electrónica no es tan rápida como la de jabón (se pueden divisar un promedio de 50 componentes por hora), y la identificación de las goteras puede ser difícil en áreas con concentraciones altas en el medio ambiente de gases de hidrocarburo.

#### **4.5.4. Evaluación estándar de flotador libre**

Estos detectores portátiles miden la concentración de los vapores en una gama de 9 a 10 000 partes por millón (ppm). El analizador combina ambos detectores, el de fotoionización y puede medir los vapores a concentraciones por encima de 10 000 ppm.

La localización se hace colocando la entrada de una sonda en la abertura en donde ocurre la fuga. Las mediciones de concentración se observan al mover la sonda lentamente a lo largo de la interfaz o la abertura hasta que se obtenga la lectura de la concentración máxima.

La concentración máxima se registra como el valor de descubrimiento de la fuga. Las detecciones con analizadores son algo lentas, se realizan en 40

componentes por hora aproximadamente y los instrumentos requieren calibrarse con frecuencia.

Los métodos de inspección ayudarán a tener un mejor control de las fugas de vapor en el sistema. Además estas herramientas permitirán a la institución a mantener un servicio adecuado y producción de vapor constante. Con esta implementación se obtienen los siguientes beneficios.

- Controla el sistema de vapor auditado;
- Se obtienen registros estadísticos del sistema, primordial para los programas de mantenimiento preventivo;
- Se evitan actividades de mantenimiento innecesarias o cambios de trampas que pueden resultar costosos;
- Los reportes facilitan la programación de las actividades de mantenimiento correctivo, jerarquizando de acuerdo a sus prioridades;
- Mayor eficiencia en las actividades de mantenimiento.

#### **4.6. Diseño de tuberías**

El diseño del sistema de tuberías que se propone para el Hospital Nacional Pedro de Bethancourt consiste en sus tuberías, bridas, empacaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor y juntas de expansión. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como zapatas, resortes y colgantes pero no incluye el de estructuras para fijar los soportes, tales como fundiciones, armaduras o pórticos de acero.

Aún en el caso en que los soportes sean diseñados por un ingeniero estructural, el diseñador mecánico de la tubería debe conocer el diseño de los mismos, por la interacción directa entre tuberías y soportes.

La lista siguiente muestra los pasos que deben completarse en el diseño mecánico del sistema de tuberías:

- Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas;
- Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido;
- Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia;
- Selección de las clases de “*rating*” de bridas y válvulas;
- Cálculo del espesor mínimo de pared (*Schedule*) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido;
- Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías;

- Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

Si el sistema no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos:

- Reubicación de soportes
- Modificación del tipo de soporte en puntos específicos
- Utilización de soportes flexibles
- Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas
- Utilización de lazos de expansión
- Presentado en frío.

El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables en todas las fases de operación normal y anormal durante toda la vida de la instalación dentro de la planta.

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de tuberías son las normas conjuntas de la *American Standard Institute* y la *American Society of Mechanical Engineers*. Cada uno de los códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas.

En lo que concierne al diseño todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles.

#### **4.6.1. Cargas de diseño de tuberías**

El sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. A continuación se resumen las posibles cargas típicas que deben considerarse en el diseño de tuberías.

##### **4.6.1.1. Cargas por la presión de diseño**

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal, se debe considerar en la implementación.

##### **4.6.1.2. Cargas por peso**

Las cargas por peso deben ser consideradas los criterios siguientes:

- Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, y aislamiento

- Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso
- Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.

#### **4.6.1.3. Cargas dinámicas**

Para las cargas dinámicas se deben considerar los siguientes:

- Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento,
- Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos,
- Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos,
- Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

Este tipo de cargas no será considerado ya que forman parte de análisis dinámicos y en este proyecto sólo se realizarán análisis estáticos.

#### **4.6.1.4. Efectos de la expansión y/o contracción térmica**

Para los efectos de expansión y/o contracción térmica se debe considerar lo siguiente:

- Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería
- Cargas inducidas por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales).

#### **4.6.1.5. Efectos de los soportes, anclajes y movimiento en las terminales**

Para los efectos de los soportes, anclajes y movimientos en las terminales se debe considerar lo siguiente:

- Expansión térmica de los equipos,
- Asentamiento de las fundaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías.

#### **4.6.1.6. Esfuerzos admisibles**

Los esfuerzos admisibles se definen en términos de las propiedades de resistencia mecánica del material, obtenidas en ensayos de tracción para diferentes niveles de temperatura y de un factor de seguridad global. Se hace mención de dos criterios para el esfuerzo admisible.

El primero es el llamado "esfuerzo básico admisible" en tensión a la temperatura de diseño, con la cual están familiarizados los que se dedican al diseño de equipos sometidos a presión, y el segundo es menos conocido y se le denomina "rango de esfuerzo admisible", el cual se deriva del esfuerzo básico

admisible y se emplea como base para el cálculo de la expansión térmica y para el análisis de flexibilidad.

#### **4.6.2. Presión de diseño**

La presión de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente, que se espere en operación normal. La condición más severa será aquella condición que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación ("*rating*") más alta de los componentes del sistema de tuberías.

Se debe excluir la pérdida involuntaria de presión, externa o interna, que cause máxima diferencia de presión.

#### **4.6.3. Temperatura de diseño**

La temperatura de diseño es la temperatura del metal que representa la condición más severa de presión y temperatura coincidentes. Los requisitos para determinar la temperatura del metal de diseño para tuberías son:

- Para componentes de tubería con aislamiento externo, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido contenido,
- Para componentes de tubería sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperaturas de 32°F (0°C) y mayores, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido,

- Para temperaturas de fluidos menores de 32°F (0°C), la temperatura del metal para el diseño, será la temperatura de diseño del fluido contenido,
- Para tuberías aisladas internamente la temperatura será especificada o será calculada usando la temperatura ambiente máxima sin viento (velocidad cero).

#### **4.6.4. Análisis de flexibilidad**

Los sistemas de tuberías deben poseer la flexibilidad suficiente de manera que la expansión o la contracción térmica, así como los movimientos de soportes y equipos, no conduzcan a:

- Falla de la tubería o de los soportes por esfuerzos excesivos o fatiga
- Fugas en las juntas
- Falla de las boquillas de los equipos conectados (recipientes a presión, bombas, turbinas.), por reacciones excesivas

En las tuberías, así como en otras estructuras, el análisis de los esfuerzos puede llevarse a cabo con diferentes grados de precisión.

Por esta razón debe asegurarse que se cumplan los siguientes requerimientos como mínimo:

- El rango de esfuerzos en cualquier punto debido a desplazamientos en el sistema no debe exceder el rango de esfuerzos permisibles establecido en la sección de esfuerzos admisibles

- Las fuerzas de reacción no deben perjudicar a los soportes o equipos conectados
- Los movimientos de la tubería deben estar dentro de los límites establecidos
- En ciertas condiciones para las cuales no se requiere el análisis formal para confirmar la aceptabilidad de la tubería desde el punto de vista de su flexibilidad. Entre ellas se mencionan:
  - El sistema es similar a otro que ha funcionado con récord exitoso de servicio productivo
  - El sistema puede ser juzgado rápidamente por comparación con otros sistemas similares analizados previamente
  - El sistema es de tamaño uniforme, no tiene más de dos puntos de fijación sin apoyos ni restricciones intermedias

#### **4.6.5. Diseño de soporte**

La selección y el diseño de soportes para tuberías es una parte importante para la implementación de la distribución de vapor. Los problemas para diseñar tuberías para altas presiones y temperaturas, tienden a ser críticos en un punto donde es imperativo que aspectos de diseño, tales como el efecto de cargas en soportes concentradas en estructuras, cargas sobre equipos conectados debido al peso de la tubería y tolerancias de los soportes respecto a tuberías y estructuras sean tomados en consideración en las primeras etapas de la implementación del sistema.

Existen métodos eficientes establecidos para ejecutar los trabajos requeridos para arribar a un diseño apropiado de soportes. A continuación se presentan varios pasos involucrados en el diseño de soportes.

#### **4.6.5.1. Recopilación de información básica**

El primer paso involucrado en el diseño de soportes es determinar y obtener la cantidad necesaria de información básica antes de proceder a los cálculos y detalles de los soportes. Es necesario obtener la siguiente información:

- Especificación del soporte cuando sea disponible
- Un señalamiento completo de dibujos de tuberías
- Un señalamiento completo de estructuras
- Una especificación apropiada de tuberías y datos que incluyan: tamaño de la tubería, composición, espesor de pared, temperaturas y presiones de operación
- Una copia de la especificación del aislante con su densidad
- Válvulas y accesorios especiales, indicando sus características (peso, dimensiones, etc.)
- Deflexiones de todas las conexiones de succión de equipos críticos como fondos de caldera, tambores de vapor, conexiones de tuberías, etc.

#### **4.6.5.2. Guías generales sobre ubicación de soportes**

La ubicación apropiada de soportes colgantes o soportes fijos involucra consideraciones de la propia tubería; de la estructura a la cual se transmite la carga y de las limitaciones de espacio. Los puntos preferidos de fijación de la tubería son:

- Sobre tubería propiamente y no sobre componentes tales como: válvulas, accesorios o juntas de expansión. Bajo cargas concentradas (puntuales), las bridas y juntas roscadas pueden gotear y los cuerpos de válvulas pueden deformarse produciendo goteo, trabazón del vástago o goteo a través del asiento.
- Sobre tramos rectos de tuberías en lugar de sobre codos de radios agudos, juntas angulares o conexiones de ramales prefabricados, puesto que en estos sitios se encuentra la tubería ya sometida a esfuerzos altamente localizados, a los cuales se agregarían los efectos locales de la fijación.
- Sobre tramos de tuberías que no requieran remoción frecuente para limpieza o mantenimiento.
- Tan cerca como sea posible de concentraciones grandes de carga, tales como: tramos verticales, ramales de tubería, válvulas motorizadas o bien válvulas pesadas y recipientes menores, tales como separadores y colabores.

#### **4.6.5.3. Espaciamientos de soportes**

La localización de los soportes depende del tamaño de la tubería, configuración de la misma, localización de las válvulas y accesorios y de la estructura disponible para el soporte de tuberías.

En el tendido de la tubería horizontal de la planta de procesos, depende únicamente de la resistencia del tubo. Dentro de los límites de una unidad de proceso, por otra parte, el espaciamiento de soportes está determinado mayormente por el espaciamiento de columnas convenientemente ubicadas.

Comúnmente el espaciamiento o tramo entre pórticos de un puente de tubería se determinará con base en la tubería más débil. Las líneas de diámetro pequeños pueden apuntalarse a lo largo de extensas luces las cuales proveen de soportes intermedios, sujetos a las tuberías adyacentes más grandes; un grupo de tales líneas pueden también atarse juntas, de manera tal que aumente la inercia combinada.

Algunas veces, la solución más práctica es simplemente, incrementar el diámetro del tubo hasta el punto que sea autosoportante a lo largo de la luz requerida.

Las luces permisibles para líneas horizontales están principalmente limitadas por los esfuerzos longitudinales que deben mantenerse dentro de los límites o en algunos casos por la máxima deflexión.

De igual manera en otros casos especiales, puede limitarse la luz para controlar la frecuencia sónica natural de las líneas, de manera de evitar vibraciones indeseables.

Por economía de los soportes de sistemas de baja presión y temperatura y largas líneas externas de transmisión, la distancia entre soportes se puede basar sobre el esfuerzo total permisible de la tubería y la cantidad de deflexión permisible entre soportes.

#### **4.6.5.4. Cargas en los soportes**

Un sistema de suspensión bien balanceado dará como resultado valores aproximadamente iguales de las cargas en los colgadores y soportes, siempre y cuando toda la tubería sea del mismo tamaño y no haya cargas altamente concentradas ubicadas cerca de un soporte o colgador. Las siguientes cargas deben ser consideradas en diseño para soportes:

- Peso de la tubería y el aislamiento, sólo donde sea especificado
- Peso de los fluidos contenidos en la línea, basado en agua o el fluido contenido; el que sea mayor. Cuando las líneas no son probadas hidrostáticamente, el peso del contenido de la línea puede ser basado sólo en los fluidos contenidos
- Las cargas laterales ocasionadas por el movimiento de la línea o soportes.

Debido a que actualmente la carga de vapor de la planta tiene un peso de 3 721 lb./h se reforzarán los soportes y colgadores que ya existen. El criterio de uso de éstos se debe al diseño de la infraestructura física. A efecto de limitar el movimiento del sistema de tuberías debido a expansión térmica se persigue lo siguiente:

- Fijar completamente la tubería en ciertos puntos

- Prevenir el movimiento longitudinal de la tubería
- Permitir desplazamientos en una dirección específica
- Limitar el movimiento de la tubería debido a fuerzas diferentes al peso y a la expansión térmica.

## **5. CONTINUIDAD, MEJORA CONTINUA Y RESULTADOS**

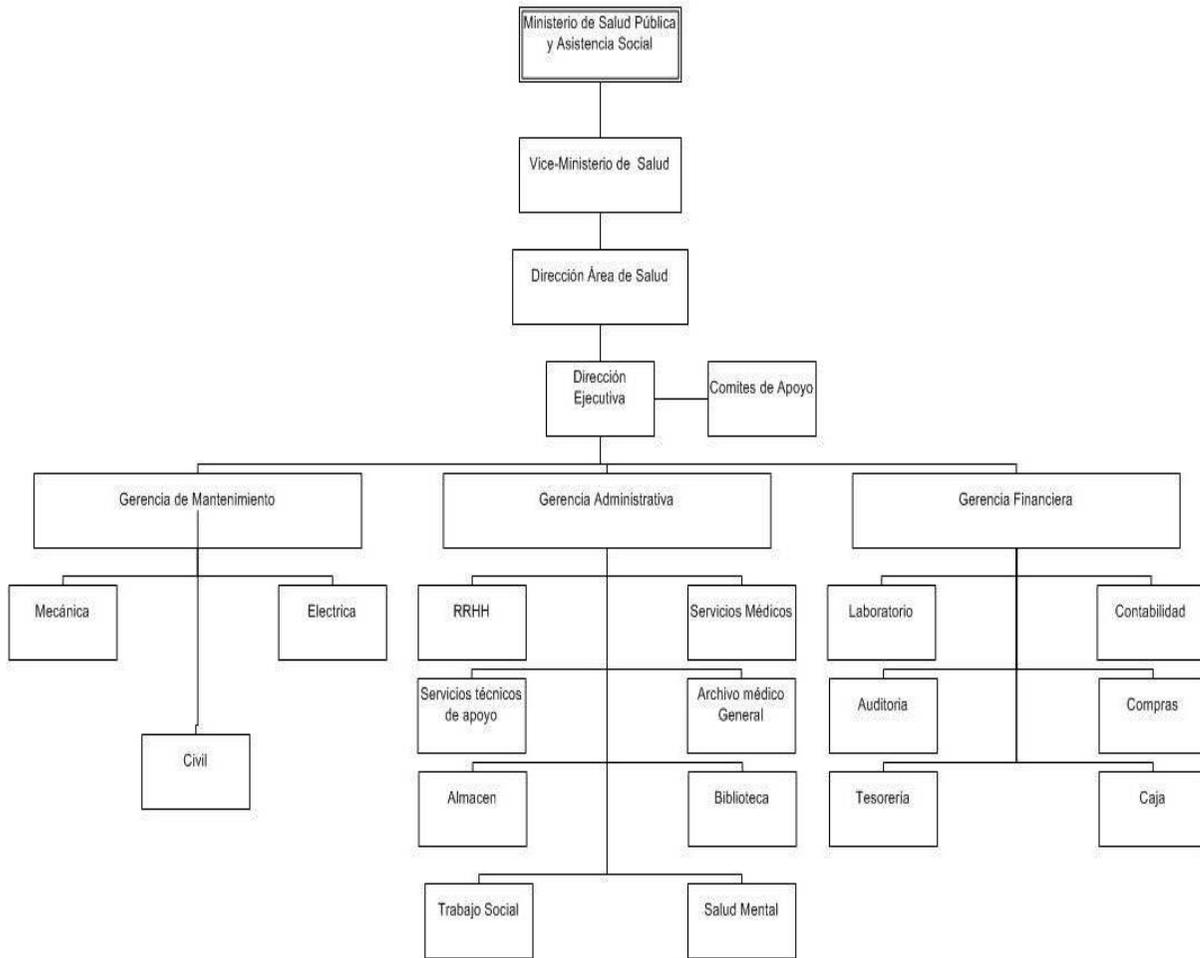
### **5.1. Reestructuración del organigrama**

A modo que la reestructuración del organigrama es algo que tendrá que realizarse, luego de que algunas áreas, se puede visualizar a lo largo del desarrollo de las actividades la necesidad de fortalecer la cultura y clima organizacional el cual determinan el comportamiento de los empleados. Toda organización debe de considerar lo que implica la eficiencia y eficacia dentro de ella a fin de lograr sus objetivos. La eficiencia consiste cómo se hacen las actividades dentro de la organización, el modo de ejecutarlas, mientras que la eficacia es para que se hacen las actividades, cuáles resultados se persiguen y si los objetivos que se traza la organización se han alcanzado.

Para lograr un alto grado de eficiencia es necesario trabajar en ambiente que trabajan de manera integral y tomar en cuenta las distintas opiniones que competen a la especialidad de cada uno de los puestos jerárquicos dentro de su organigrama.

Es necesaria de reestructuración al actual organigrama haciendo partícipes a los actores gerenciales, lo cual deja a los directivos tomar la decisión de empoderar mandos necesarios al tema técnico que puede representar ahorro en acciones que a la fecha producen altos costos para la institución. A continuación se presenta el organigrama propuesto.

Figura 36. Reestructuración de organigrama



Fuente: elaboración propia.

### 5.1.1. Perfiles mínimos recomendados

Dentro de la propuesta de organigrama para el mejor desempeño de las actividades del mantenimiento en los diferentes sistemas del hospital tenemos:

- **Gerente de mantenimiento**

- Nivel académico: profesional Ingeniero Mecánico Industrial colegiado activo con un mínimo de experiencia de 2 años.
- Habilidades: mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria de planta, instalaciones eléctricas y obra civil, manejo de personal, seguridad industrial, administración y ejecución de proyectos y manejo de paquetes de computación.
- Funciones a desempeñar: dirigir el departamento a su cargo además de la planificación de actividades y la programación de las acciones que deben de efectuar en las distintas áreas del hospital por el personal bajo su mando.

- **Técnico en mecánica**

- Nivel académico: título de Perito o Bachiller en Mecánica básica.
- Habilidades: conocimientos de maquinaria industrial, torno, fresadora, motores de combustión interna e interpretación de diagramas mecánicos.
- Funciones a desempeñar: desarrollar actividades de mantenimiento tales como el engrase y ajuste diario en los controles mecánicos de la red dentro de la caldera y reparación en motores de combustión. Elaboración de piezas mecánicas in situ para la maquinaria propia del hospital.

- **Técnico en electricidad**

- Nivel académico: título en Perito Industrial en Electricidad, Bachiller en Electricidad domiciliar o afín.
- Habilidades: instalaciones eléctricas, montaje de dispositivos eléctricos y lectura de diagramas eléctricos.
- Funciones a desempeñar: instalación de conexiones eléctricas dentro de la planta, así como la reparación de cableado estructurado y polarización de líneas de carga eléctrica.

- **Técnico en obra civil**

- Nivel académico: título de Perito en Construcción o Bachiller afín al conocimiento de obra gris, plomería, jardinería y conserjería.
- Habilidades: manejo de personal, planificación de actividades, conocimiento de materiales de construcción y elaboración de informes.
- Funciones a desempeñar: reparaciones de índole estructural de obra gris como las actividades de reparación de plomería, así como el mantenimiento de las áreas verde del hospital, teniendo bajo su mando al conserje y la supervisión de maestros de obra.

## **5.2. Administración del sistema de trampas de vapor**

Para la administración del sistema de vapor después de la implementación del mejoramiento de la distribución de vapor se le debe dar seguimiento con una administración eficiente que se incluye:

- Planear: actividades de supervisión y mantenimiento
- Organizar: fechas para ejecutar lo planeado
- Integrar: recursos para ejecutar las actividades
- Evaluar: resultados y los objetivos de la planificación

Para la administración del sistema de la red de vapor se debe incluir los siguientes:

- Monitorización continua
- Medida simultánea de varios parámetros de las trampas
- Inspección continua del sistema
- Detección prematura de fallas
- Evaluación del rendimiento energético de la trampa
- Registro continuo o histórico del funcionamiento de la trampa

- Reparación en el sitio de las trampas y válvulas sin interrupción de su operación.

Es importante mencionar que el seguimiento y la mejora continua se darán a todo el sistema, ya que el propósito es mantener la eficiencia en la red de al menos 90% con lo que se espera el cumplimiento de los objetivos.

### **5.3. Capacitación del recurso humano**

Para el seguimiento de la implementación se debe considerar la capacitación del personal ya que es el recurso para el cumplimiento de los objetivos del sistema de vapor, esto implica, tomar en cuenta lo siguiente:

Taller industrial: se requiere de capacitación técnica básica, preferentemente que atienda los requerimientos propios de las áreas de vapor.

Zonas: para este segmento del área de mantenimiento se requiere que, además de capacitación técnica básica como mecánicos montadores, dispongan de conocimiento de la tecnología de los procesos productivos cuyos equipos e instalaciones atienden, así como de un buen ejercicio de las relaciones humanas y paralelamente un acatamiento exclusivo al área de mantenimiento.

Servicios: deben contar con formación técnica básica y con un buen conocimiento de la tecnología de los procesos a atender. En consecuencia, en caso de corresponder, se incluirán en el manual los requisitos a satisfacer y los lineamientos de capacitación a tener en cuenta.

Los supervisores o mandos medios son el enlace natural entre la gerencia y los trabajadores encargados de realizar las tareas de mantenimiento propiamente dichas, operación de los servicios a la producción, entre otros. Su capacitación debe ser preferentemente técnica que cubra también y como mínimo, la mayoría de las técnicas del trabajo requeridas en el área de mantenimiento.

También debe contar con un conocimiento general de la tecnología de los procesos productivos y de los servicios a atender, así como conocer los conceptos básicos de limpieza, higiene y seguridad industriales. También en este nivel se requiere que sean líderes, cuenten con aptitudes para dirigir y motivar al personal a su cargo en la correcta y eficiente ejecución de las tareas. Además son responsables de cumplir con las siguientes funciones:

- Definir las metas a alcanzar dentro de los objetivos y políticas previamente acordadas con la alta gerencia de la empresa y con sus colaboradores
- Establecer los procedimientos para encarar el mantenimiento y para la recopilación, procesamiento, divulgación de datos y formulación de los informes correspondientes
- Analizar los datos e informes y formular recomendaciones y/o modificaciones a los programas y modos de operar establecidos
- Definir los programas de entrenamiento y capacitación del personal
- Establecer procedimientos para la evaluación de la eficiencia del plan de mantenimiento

- Establecer presupuesto y costos de mantenimiento
- Establecer un registro y análisis de fallas de los equipos e instalaciones y desarrollar y/o ajustar procedimientos para su control o eliminación efectivos
- Actualizar el manual de gestión de mantenimiento
- Definir y administrar los recursos físicos y humanos para cumplir satisfactoriamente con los objetivos y metas fijadas

El gerente de mantenimiento debe responder a un perfil de capacitación preferentemente universitaria con formación básica que cubra, por lo menos, la mayoría de las técnicas de trabajo departamental. Paralelamente, es recomendable que tenga conocimiento general de la tecnología involucrada en los procesos productivos de vapor, así como conceptos de limpieza, higiene y seguridad industrial.

La capacitación está orientada a los técnicos que actualmente laboran en el área de mantenimiento. Con esto se busca beneficiar tanto a la organización como al empleado.

#### **5.4. Beneficio para la organización**

- Conducir a rentabilidad más alta y a actitudes más positivas
- Mejorar el conocimiento del puesto a todos los niveles
- Crear mejor imagen

- Mejorar la relación jefes-subordinados
- Promover la comunicación
- Agilizar la toma de decisiones y la solución de problemas
- Promover la especialización de puestos de trabajo
- Contribuir a la formación de líderes

#### **5.5. Beneficio para el personal**

- Ayudar al individuo para la toma de decisiones y solución de problemas
- Alimentar la confianza, la posición asertiva y el desarrollo
- Contribuir positivamente en el manejo de conflictos y tensiones
- Forjar líderes y mejorar las aptitudes comunicativas
- Subir el nivel de satisfacción con el puesto
- Permitir el logro de metas individuales
- Desarrollar un sentido de progreso en muchos campos
- Eliminar los temores a la incompetencia o la ignorancia individual

## **5.6. Programa de pruebas de trampas de vapor**

Para una máxima vida útil de la trampa y un mayor ahorro en vapor, se debe de tener un programa de pruebas, su presión de operación es el factor principal que se utiliza para determinar la frecuencia de chequeo de las trampas de vapor. Para el seguimiento de la implementación y para el programa de pruebas se tomará en cuenta lo siguiente, en el momento de fallar la presión:

- Se especificó la presión incorrecta para su selección
- La presión se elevó sin haber instalado un orificio más pequeño
- La válvula reguladora no funciona correctamente
- Lectura baja en el manómetro para la presión de la caldera
- El orificio se ha hecho más grande debido al desgaste normal
- Un alto vacío en las tuberías de retorno incrementa la presión diferencial más allá de la máxima permitida para la trampa
- Es importante mencionar que el programa de pruebas está orientado a todas las trampas del sistema, pues como se mencionó anteriormente, el objetivo de las pruebas es mantener la eficiencia del vapor al 90%.

## **5.7. Auditoría del sistema de vapor**

Para la auditoría del sistema de vapor se recomienda que, siempre que falle una trampa de vapor y no existe una razón aparente para esa falla, se debe de observar cuidadosamente la descarga de la trampa. Esta es una tarea

sencilla si es que la trampa se ha instalado con una salida para pruebas; si este no es el caso, entonces será necesario desconectar la tubería de salida para observar la descarga. Los siguientes enunciados ayudan a determinar la situación:

- Trampa fría y sin descarga:

Si la trampa no está descargando ningún condensado, entonces:

- La presión puede ser demasiado alta
  - ◆ Se especificó la presión incorrecta para su selección
  - ◆ La presión se elevó sin haber instalado un orificio más pequeño
  - ◆ La válvula reguladora no funciona correctamente
  - ◆ Lectura baja en el manómetro para la presión de la caldera
  - ◆ El orificio se ha hecho más grande debido al desgaste normal
  - ◆ Un alto vacío en las tuberías de retorno incrementa la presión diferencial más allá de la máxima permitida para la trampa.
- No llega condensado o vapor a la trampa
  - ◆ El filtro antes de la trampa está tapado
  - ◆ Fugas en la tubería de entrada a la trampa

- ◆ Tubería o codos tapados
- Mecanismo desgastado o defectuoso
  - ◆ Se debe de reparar o reemplazar lo que sea necesario
- El cuerpo de la trampa está lleno de suciedad
  - ◆ Se debe de instalar un filtro o remover la suciedad en donde se está generando
- Para trampas IB, el venteador en el balde está lleno de suciedad. Se evita mediante
  - ◆ La instalación de un filtro
  - ◆ Aumento ligero del tamaño del venteador
  - ◆ El uso de un alambre limpiador en el venteador del balde
- Para trampas F & T
  - ◆ Si el venteador de aire no está funcionando en forma correcta. Es muy probable que esté trabado por el aire
- Para trampas termostáticas
  - ◆ Parte del fuelle se puede romper debido a impacto hidráulico, lo que causaría que la trampa falle cerrada

- Para trampa de disco
  - ◆ Puede ser que la trampa se instaló invertida
- Trampa caliente y sin descarga
  - No está llegando condensado a la trampa
    - ◆ La trampa se instaló más arriba que una válvula de *bypass* con fuga
    - ◆ El tubo de drenaje por sifón en un tanque está roto o dañado
    - ◆ Vacío en el serpentín del calentador de agua evita el drenaje. Se debe de instalar un rompedor de vacío entre el intercambiador de calor y la trampa.
- Pérdida de calor

Si la trampa está dejando escapar vapor vivo, se puede deber a cualquiera de los siguientes problemas:

- La válvula no cierra en su asiento
  - ◆ Pedazo de óxido incrustado en el orificio
  - ◆ Partes desgastadas
- Trampas IB pierden su ciclo

- ◆ Si la trampa está descargando vapor vivo. Ciérrase la válvula de entrada por unos minutos. Vuélvase a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.
- ◆ Típicamente la pérdida de calor en una trampa se debe a cambios frecuentes y repentinos en la presión del vapor. En estos casos se recomienda la instalación de una válvula *check*. Cuando sea posible se debe de instalar la trampa muy por debajo del punto de drenado.
- ◆
- Flujo continuo

Si una trampa IB o una de disco está descargando continuamente, o si una trampa F&T una termostática descarga a su máxima capacidad, se debe de checar lo siguiente:

- Trampa demasiado pequeña
  - ◆ Una trampa más grande o trampas adicionales, se debe de instalar en paralelo
  - ◆ Trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. Instálese un mecanismo interno del tamaño adecuado
- Agua en condiciones anormales

- ◆ La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe de instalar un separador o se deben de corregir las condiciones del agua de alimentación a las calderas
- Calentamiento lento

Cuando la trampa está operando de manera correcta pero la unidad no calienta de forma adecuada, entonces:

- Una o más de las unidades están en cortocircuito. La solución es instalar una trampa en cada unidad
  - Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aún cuando parezca que está descargando el condensado de una manera eficiente. Se debe de probar trampas de un tamaño más grande
  - La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe de usar un venteador de aire adicional.
- Problemas misteriosos

Si la trampa está funcionando de manera satisfactoria cuando descarga a la atmósfera, pero se tienen problemas cuando su descarga se conecta a una tubería de retorno, se debe de checar lo siguiente:

- La contrapresión puede estar disminuyendo de capacidad de la trampa

- La tubería de retorno es demasiado pequeña – trampa caliente
- Otras trampas están descargando vapor – trampa caliente
- El venteador atmosférico en el receptor del condensado está tapado – trampa fría o caliente
- La tubería de retorno está obstruida – trampa caliente
- Vacío excesivo en la tubería de retorno – trampa fría
- Problemas imaginarios

Si se tiene la impresión de que se está escapando vapor cada vez que la trampa descarga, recordar:

- El condensado caliente genera vapor flash al ser descargado a una presión menor pero generalmente se condensa más rápido en la tubería de retorno.

## CONCLUSIONES

1. Dentro de los equipos que se encuentran en la red de distribución de vapor se observaron dañados en su mayoría: las trampas de vapor, las llaves de paso y el aislamiento que cubre la tubería del paso de vapor. Así mismo en algunas lavadoras dentro de su sistema se hallaron fugas de vapor lo cual corresponde a otro tratamiento.
2. La relación de vapor producido en las condiciones actuales es alta debido a la inexactitud en el mantenimiento a la red de vapor, porque se está produciendo mucho más vapor de cual se requiere, dadas las pérdidas de energía que se están obteniendo por el deterioro de accesorios dentro del sistema.
3. Intrínsecamente de las causas más comunes halladas en la fuga de energía en forma de vapor, fueron encontradas situaciones como la escasez de mantenimiento adecuado, la sustitución de piezas obsoletas y la poca dirección en la ejecución de propuestas hacia el departamento de mantenimiento.
4. Se detectó la necesidad de colocar aislante en las tuberías que no lo tengan, además de colocar un serpentín dentro de la chimenea de gases, así como la reparación o sustitución en algunas de las trampas de vapor y esencialmente la generación de vapor sobrecalentado para optimizar el consumo de combustible en la caldera de vapor y reducir los costos de operación.

5. Según los costos de inversión, estos no son representativos comparado con la optimización de la red y sus mejoras que generarían ahorros en combustible como la producción correcta, según los requerimientos de vapor de los diferentes equipos que se encuentran en el sistema.
6. Cuando se efectúen las mejoras propuestas se estiman beneficios en la tasa de servicio principalmente en lavandería, desestimando atrasos en la entrega de la ropa de cama como sucede todavía.
7. El personal del área de mantenimiento no cuenta con capacitación constante por lo cual no demuestran su potencial para efectuar tareas de manera más eficiente.

## RECOMENDACIONES

1. Aumentar la presión de la caldera a 125 psi para generar vapor sobrecalentado, a fin de mejorar el consumo de combustible utilizado para la generación de vapor.
2. Procurar mantener la presión a 125 psi al inicio y fin de la operación diaria al finalizar la jornada de trabajo, evitando así el desaprovechamiento del combustible que se utiliza para levantar la presión nominal.
3. Evaluar la operatividad de las trampas de vapor y componentes del sistema, con equipo apropiado, en donde se especifican cada una de las trampas en cuanto a sus características de desempeño, esto permite graficar los resultados del chequeo y llevar el control estadístico del sistema de trampas.
4. Para la instalación de aislante térmico en tuberías y accesorios se recomienda que antes del montaje, deba comprobarse que las tuberías no estén rotas, dobladas, aplastadas, oxidadas o dañadas de cualquier manera. Para dicha instalación se harán de forma ordenada.
5. Realizar una reestructuración de la parte organizativa de los mandos gerenciales, a fin de crear un puesto de trabajo que satisfaga la necesidad de realizar cambios de fondo para sanar fallas de índole técnica o prevenirlas, por lo cual se propone el diseño de un organigrama que incluye dicha propuesta.

6. Programar capacitaciones para el personal que incluyan material de apoyo para cada participante, los cuales pueden ser costeados con los ahorros anuales que se obtienen al mejorar el sistema.
7. Llevar un control diario de los problemas encontrados y las respectivas propuestas para la solución del mismo. En los casos donde se ameriten, se tomarán fotografías digitales para sustentar el reporte de la falla.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER III, Theodore; AVALLONE, Eugene A. *Manual del ingeniero mecánico*. 9ª ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1997. 670 p. ISBN 9789701006924.
2. CENGEL, Yunis Boles. *Termodinámica*. México: McGraw-Hill, 1990. 1028 p. ISBN 9701056116.
3. DRESSLER, Gary. *Administración de personal*. 8ª ed. Florida: Florida International University, 2001. 736 p. ISBN 9684444885.
4. GARCÍA FERRER, Carlos Alberto. *Vapor de agua: teoría y aplicaciones*. México: Limusa, 1998. 146 p. ISBN 9686062637.
5. GOODING GARAVITO, Nestor. "Operaciones unitarias II: manual de prácticas". Santafé de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 1998. p. 109-137.
6. KAWAMATY, George. *Introducción al estudio de trabajo*. 4ª ed. México: Limusa, 2000. 540 p. ISBN: 9681856287.
7. MCCABE, Warren L.; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4ª. ed., México: McGraw-Hill, 2002. 1199 p. ISBN 970-10-3648-4.

8. MORENO, Eduardo. *Recopilación de detalles típicos para instalaciones industriales de vapor*. Caracas: s.e. 1998. 342 p.
9. NEWBROUGH, E.T. *Administración del mantenimiento industrial*. 2ª ed. México: Diana, 1994. 654 p. ISBN 968-13-0666-X.
10. PERRY, Robert; GREEN, Don; MALONEY, James. *Manual del ingeniero químico*. 6ª ed. México: McGraw-Hill, 1998. Vol III, p. 72-83. ISBN 468-422-973-9.
11. SEVERNS, W. H.; DEGLER, H. E.; MILES, J.C. *Producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y gases*. Barcelona: Reverté, 2007 503 p. ISBN 8429148906.
12. SHIELD, Carl. *Calderas: tipos, características y sus funciones*. México: Continental, 1998. 237 p. ISBN 468-422-973-9.
13. WERTHER, William. *Administración de personal y recursos humanos*. 4ª ed. México: McGraw-Hill, 1997. 644 p. ISBN 9789701059135.