



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

“DIAGNOSTICO TÉRMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN DEL “HOSPITAL GENERAL PROVINCIAL LATACUNGA”.

---

**AUTOR:** Chango Cañaverl Álvaro Fernando

**TUTOR:** Ing. Mg. Escobar Luna Eduardo Luis

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “DIAGNOSTICO TÉRMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN DEL “HOSPITAL GENERAL PROVINCIAL LATACUNGA” elaborado por el señor ALBARO FERNANDO CHANGO CAÑAVERAL, estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

Que la presente tesis es original de su autor.

Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.

Es concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, agosto del 2017

.....

Ing. Mg. Luis Escobar

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

## **AUTORIA DE TRABAJO**

Declaro que los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DIAGNOSTICO TÉRMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN DEL “HOSPITAL GENERAL PROVINCIAL LATACUNGA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente proyecto.

Ambato, agosto del 2017

## **EL AUTOR**

.....  
Chango Cañaverl Álvaro Fernando

CI: 0503935702

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Calificación de Grado aprueban el trabajo de investigación con el tema: “DIAGNOSTICO TÉRMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN DEL “HOSPITAL GENERAL PROVINCIAL LATACUNGA”, elaborado por el señor ALBARO FERNANDO CHANGO CAÑAVERAL, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Santiago Cabrera

.....

Ing. Mg. Diego Moya

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Sedo los derechos en línea patrimoniales de este Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de las regulaciones de las Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto del 2017

## **EL AUTOR**

.....  
Chango Cañaverl Álvaro Fernando

CI: 0503935702

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación, a Dios por haberme guiado por el camino correcto y a mis padres Mario y Esther quienes siempre fueron mi inspiración de superación, así también a mis hermanos Mario Santiago y Patricia Marisol quienes siempre supieron apoyarme incondicionalmente en los momentos difíciles de mi vida.

Dedico a una persona muy especial Yolanda Elisabeth (+) quien mientras estuvo a mi lado fue quien me supo apoyar en todo momento para culminar mi carrera y ahora me cuida desde el cielo “GRACIAS MI ELIZ” nunca te olvidare.

*Albaro Fernando*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la las bendiciones recibidas para culminar una etapa muy importante de mi vida, mis padres por todo el esfuerzo realizado día a día y apoyo incondicional brindado durante toda mi formación profesional a mis hermanos, Mario y Patricia por todo su apoyo y consejos brindados.

A mi tutor Ing. Mg. Luis Escobar, por todo el apoyo incondicional brindado con sus conocimientos y guía en la realización de mi proyecto de titulación, al Ing. Diego Hidalgo jefe de mantenimiento del Hospital General Latacunga por la facilidades brindadas.

A mis amigos Felipe, Omar, José, David, Luigi, Alex y Mauricio quienes fueron un pilar fundamental para poder cumplir mis metas y por todas las experiencias vividas.

A todos los ingenieros quienes supieron brindarme sus conocimientos y amistad a lo largo de toda mi formación profesional.

*Albaro Fernando*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

|  |             |
|--|-------------|
| <b>PORTADA.....</b>                                | <b>I</b>    |
| <b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....</b>               | <b>II</b>   |
| <b>AUTORIA DE TRABAJO .....</b>                    | <b>III</b>  |
| <b>DEDICATORIA.....</b>                            | <b>VI</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>                        | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....</b>           | <b>VIII</b> |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                             | <b>1</b>    |
| 1.1 TEMA.....                                      | 1           |
| 1.2 ANTECEDENTES .....                             | 1           |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN.....                             | 1           |
| 1.4 OBJETIVOS.....                                 | 2           |
| 1.4.1 Objetivo General .....                       | 2           |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....                   | 2           |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>                           | <b>3</b>    |
| 2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS.....                   | 3           |
| 2.2 FUNDAMETACIÓN TEÓRICA .....                    | 4           |
| 2.1.1 Principios básicos del vapor.....            | 4           |
| 2.2.1 Generadores de vapor.....                    | 5           |
| 2.2.2 Tipos de calderas y partes principales.....  | 5           |
| 2.2.2.1 Calderas pirotubulares .....               | 5           |
| 2.2.2.2 Caldera acuatubular .....                  | 6           |
| 2.2.2.3 Chimenea .....                             | 6           |
| 2.2.3 Tanque de almacenamiento de condensados..... | 7           |
| 2.2.4 Formas de transferencia de calor.....        | 7           |
| 2.2.5 Conducción .....                             | 7           |
| 2.2.6 Convección.....                              | 8           |
| 2.2.8.1 Convección natural sobre superficies ..... | 8           |
| 2.2.8.2 Número de Grashof.....                     | 8           |



|                          |  |           |
|--------------------------|--|-----------|
| 2.2.8.3                  | Número de Rayleigh .....   | 10        |
| 2.2.8.4                  | Número de Nusselt.....   | 10        |
| 2.2.7                    | Radiación.....   | 11        |
| 2.2.8                    | Pérdidas de calor sensible de los humos de chimenea .....                                    | 11        |
| 2.2.9                    | Eficiencia en calderas.....  | 12        |
| 2.2.9.1                  | Método directo para el cálculo de eficiencia .....   | 12        |
| 2.2.9.2                  | Método indirecto para el cálculo de eficiencia .....   | 13        |
| 2.2.10                   | Estimación del consumo de vapor.....   | 13        |
| 2.2.10.1                 | Área de esterilización.....  | 14        |
| 2.2.10.2                 | Área de esterilización.....  | 15        |
| 2.2.11                   | Distribuidor de vapor .....  | 17        |
| 2.2.12.1                 | Fundamentos de los sistemas de vapor .....   | 17        |
| 2.2.12.2                 | Recuperación de calor de purgas de caldera.....  | 19        |
| 2.2.12.3                 | Funcionamiento .....   | 19        |
| 2.2.12                   | Trampas de vapor .....   | 20        |
| 2.2.12.1                 | Clasificación de las trampas de vapor.....   | 21        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b> |  | <b>24</b> |
| 3.1                      | <b>SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y<br/>DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....</b>          | <b>24</b> |
| 3.1.1                    | Casa de máquinas .....   | 24        |
| 3.1.2                    | Ubicación del Hospital Regional Latacunga.....   | 25        |
| 3.1.3                    | Esquema general del sistema .....  | 25        |
| 3.1.4                    | Caldera .....  | 26        |
| 3.1.5                    | Combustible .....  | 27        |
| 3.1.6                    | Tanque diario de combustible .....   | 28        |
| 3.1.7                    | Consumo de combustible .....   | 28        |
| 3.1.8                    | Suministro de agua .....   | 29        |
| 3.1.9                    | Tanque de tratamiento de agua .....  | 30        |
| 3.1.10                   | Sistema de distribución de vapor .....   | 30        |
| 3.1.11                   | Tuberías de distribución.....  | 31        |
| 3.2                      | <b>ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y<br/>DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....</b> | <b>32</b> |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.2.1   | Eficiencia del sistema de generación de vapor .....                                 | 32 |
| 3.3     | ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN<br>DE VAPOR .....             | 33 |
| 3.4.1   | Pérdidas por convección y radiación en la caldera .....                             | 34 |
| 3.5.2.1 | Pérdidas de calor por convección en paredes planas de la caldera..                  | 34 |
| 3.5.2.2 | Pérdidas de calor por convección en la periferia de la caldera .....                | 36 |
| 3.5.2.3 | Pérdidas de calor por radiación en paredes planas de la caldera ....                | 38 |
| 3.5.2.4 | Pérdidas de calor por radiación en periferias de la caldera.....                    | 39 |
| 3.4.2   | Pérdidas por convección y radiación en el tanque de condensado....                  | 41 |
| 3.3.2.1 | Pérdidas de calor por convección en paredes frontal y posterior ....                | 41 |
| 3.3.2.2 | Pérdidas de calor por convección en la periferia del tanque.....                    | 42 |
| 3.3.2.3 | Pérdidas de calor por radiación en las paredes del tanque.....                      | 43 |
| 3.3.2.4 | Pérdidas de calor por radiación en la periferia del tanque .....                    | 44 |
| 3.4.3   | Pérdidas de calor en la chimenea .....  | 44 |
| 3.3.3.1 | Pérdidas de calor por convección en la chimenea .....                               | 44 |
| 3.3.3.2 | Pérdidas de calor por radiación en la chimenea.....                                 | 46 |
| 3.3.3.3 | Pérdidas de calor sensible de los humos de chimenea.....                            | 46 |
| 3.4.4   | Pérdidas de calor en la red de distribución de vapor.....                           | 47 |
| 3.3.4.1 | Pérdidas de calor por convección en la red de distribución.....                     | 47 |
| 3.3.4.2 | Pérdidas de calor por radiación en la red de distribución .....                     | 51 |
| 3.4.5   | Pérdidas de calor en la red de retorno de condensado .....                          | 52 |
| 3.3.5.1 | Pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador .....                   | 52 |
| 3.3.5.2 | Pérdidas de calor por convección cocina – tanque de condensado..                    | 53 |
| 3.3.5.3 | Pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador.....                    | 54 |
| 3.3.5.4 | Pérdidas de calor por convección cocina – tanque de condensado..                    | 54 |
| 3.4.6   | Pérdidas de calor del sistema .....   | 55 |
| 3.4     | ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE VAPOR EN LAS AREAS DE<br>LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN..... | 56 |
| 3.5     | ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE<br>DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN ..... | 59 |
| 3.5.1   | Instalación del sistema de recuperación de vapor “flash” .....                      | 59 |
| 3.5.2   | Reemplazo de trampas de vapor averiadas .....                                       | 62 |

|                          |   |           |
|--------------------------|---|-----------|
| 3.5.2.1                  | Instalación de un sistema de retorno de condensado adquirido..... | 66        |
| 3.5.2.2                  | Instalación de un sistema de retorno de condensado calculado..... | 67        |
| 3.5.3                    | Material aislante en la tubería de distribución .....             | 71        |
| 3.6                      | RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROYECTO TÉCNICO<br>REALIZADO .....      | 73        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b> |   | <b>76</b> |
| 4.1                      | CONCLUSIONES .....  | 76        |
| 4.2                      | RECOMENDACIONES .....   | 77        |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

### ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2- 1 Valor de la constante k para siegert.....  | 12 |
| Tabla 3-1 Información técnica de la caldera pirotubular .....   | 27 |
| Tabla 3-2 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por convección pared<br>frontal .....                          | 34 |
| Tabla 3-3 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por convección pared<br>posterior.....                         | 35 |
| Tabla 3-4 Datos para el cálculo de pérdidas por de calor convección en la<br>periférica de la caldera .....           | 36 |
| Tabla 3-5 Datos para el cálculo de pérdidas por de calor convección en la<br>periférica de la caldera sin aislar..... | 37 |
| Tabla 3-6 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared<br>frontal .....                       | 39 |
| Tabla 3-7 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared<br>posterior.....                      | 39 |
| Tabla 3-8 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared<br>frontal .....                       | 40 |
| Tabla 3-9 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared<br>posterior.....                      | 40 |
| Tabla 3-10 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en paredes<br>frontal y posterior .....          | 41 |
| Tabla 3-11 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la<br>periferia del tanque.....               | 42 |
| Tabla 3-12 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en las paredes<br>del tanque .....                | 43 |
| Tabla 3-13 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en las paredes<br>del tanque .....                | 44 |
| Tabla 3-14 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la<br>chimenea .....                          | 44 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3-15 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la chimenea .....   | 46 |
| Tabla 3-16 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la red de distribución; tramo caldera – distribuidor ..... | 47 |
| Tabla 3-17 Resultado de pérdidas de calor por convección en las líneas de distribución.....  | 50 |
| Tabla 3-18 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la red de distribución.....                                 | 51 |
| Tabla 3-19 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador .....                              | 52 |
| Tabla 3-20 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador .....                              | 53 |
| Tabla 3-21 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación lavandería – esterilizador .....                               | 54 |
| Tabla 3-22 Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación cocina – tanque de condensado .....                            | 54 |
| Tabla 3-23 Resultados de pérdidas de calor del sistema.....  | 55 |
| Tabla 3-24 Consumo de vapor según el número de camas .....   | 56 |
| Tabla 3-25 Consumo de vapor según la guía de diseño hospitalario de américa latina.....  | 57 |
| Tabla 3-26 Consumo de vapor en lavandería según el imss para el hospital de latacunga .....  | 57 |
| Tabla 3-27 Consumo de vapor según el instituto mexicano de seguridad social..  | 58 |
| Tabla 3-28 Cuadro comparativo de consumo bajo normas.....  | 58 |
| Tabla 3-29 Características de la trampa de vapor .....   | 62 |
| Tabla 3-30 Trampas de vapor en los equipos del hospital .....  | 62 |
| Tabla 3-31 Recomendaciones de trampas de vapor .....   | 63 |
| Tabla 3-32 Pérdidas de calor después de la instalación del material aislante .....   | 72 |
| Tabla 3-33 Cuadro comparativo tuberías aisladas vs tuberías no aisladas .....  | 72 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2-1 Caldera pirotubular .....   | 6  |
| Figura 2-3 Caldera acuatubular .....   | 6  |
| Figura 2-4 Número de grashof .....   | 9  |
| Figura 2-5 Esquema de esterilizador o autoclave .....                                  | 14 |
| Figura 2-6 Esquema de destilador de agua .....   | 15 |
| Figura 2-7: Esquema de una calandra vertical .....                                     | 16 |
| Figura 2-8: Prensa a vapor para uso hospitalario .....                                 | 16 |
| Figura 2-9 Esquema de una secadora a vapor .....                                       | 17 |
| Figura 2-10 Esquema de circuito típico de vapor .....                                  | 19 |
| Figura 2-11 Esquema del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor..... | 20 |
| Figura 2-12 Esquema del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor..... | 21 |
| Figura 2-13 Esquema del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor..... | 22 |
| Figura 2-14 Esquema del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor..... | 23 |
| FIGURA 3-1: UBICACIÓN HOSPITAL GENERAL LATACUNGA .....                                 | 25 |
| FIGURA 3-2: MANIFOLD DE VAPOR .....  | 26 |
| FIGURA 3-3: CALDERA DE VAPOR PIROTUBULAR .....   | 26 |
| FIGURA 3-4: PLACA DE INFORMACIÓN DE CALDERA DE VAPOR PIROTUBULAR..                     | 26 |
| FIGURA 3-5: DEPÓSITOS DE DIÉSEL FILTRADO N°3 .....                                     | 28 |
| FIGURA 3-6: BOMBA CENTRÍFUGA 2HP .....   | 28 |
| FIGURA 3-7: VARIACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2015.....                              | 29 |
| FIGURA 3-8: VARIACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2016.....                              | 29 |
| FIGURA 3-9: ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE AGUA A LA CALDERA .....                     | 30 |
| FIGURA 3-10: SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA.....                                    | 30 |
| FIGURA 3-11: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....                                    | 31 |
| FIGURA 3-12: LÍNEA DE DESTRUCCIÓN DE VAPOR - LAVANDERÍA .....                          | 31 |
| FIGURA 3-13: LÍNEA DE DESTRUCCIÓN DE VAPOR – ESTERILIZACIÓN .....                      | 32 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 3- 14: SELECCIÓN DEL TANQUE DE VAPORIZADO DEL SISTEMA DE<br>RECUPERACIÓN DE VAPOR “FLASH” .....   | 60 |
| FIGURA 3- 15: DISEÑO GENERAL DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR<br>“FLASH” .....   | 61 |
| FIGURA 3- 16: DIMENSIONES DEL TANQUE DE VAPORIZADO FV6/M310 “FLASH”<br>.....   | 61 |
| FIGURA 3- 17: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TRAMPAS DE VAPOR DE BALDE<br>INVERTIDO:.....   | 64 |
| FIGURA 3- 18: TABLA PARA SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL ORIFICIO PARA<br>TRAMPAS DE VAPOR DE FLOTADOR Y TERMOSTÁTICAS .....                                | 65 |
| FIGURA 3- 19: TABLAS PARA SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE ORIFICIO DE<br>DESCARGA DE TRAMPAS DE VAPOR TERMOSTÁTICAS DE FUELLE DE<br>PRESIÓN BALANCEADA ..... | 66 |
| FIGURA 3- 20: SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPOR STEAM BOILERS 1-1/2 TO<br>300HP, 15 TO 250PSI.....   | 67 |
| FIGURA 3- 21: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN<br>DE VAPOR .....   | 68 |
| FIGURA 3- 22: CURVAS PARA SELECCIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA .....  | 69 |
| FIGURA 3- 23: SELECCIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA PARA EL SISTEMA DE<br>RETORNO.....   | 70 |
| FIGURA 3- 24: ESPESORES RECOMENDADOS AISLAMIENTOS PARA TUBERÍAS ...  | 71 |

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se realizó un análisis térmico en el sistema de generación y distribución de vapor del Hospital General Provincial Latacunga. Se determinó las pérdidas de calor por convección natural en el sistema de 124,890 kW la metodología utilizada para la obtención experimental de datos de temperatura superficial se basa en la aplicación de un equipo electrónico (termómetro infrarrojo) para determinar la eficiencia del sistema del 84%, se calculó el consumo de agua de 3500 gal/día y combustible con un promedio de 74 gal/día para determinar la eficiencia del generador de calor de 79,05%, mediante el uso de Guía de Diseño Hospitalario para América Latina y la normativa del Instituto Mexicano de Seguridad Social las cuales permiten determinar el consumo de vapor que necesita un hospital con el número de camas disponibles, las cuales arrojaron valores de 1855 lb/h y 1849 lb/h respectivamente para un total de 162 camas disponibles, las alternativas planteadas para reducir las pérdidas de calor en el sistema de generación y distribución de vapor las cuales son: instalación del sistema de recuperación de vapor flash con la cual se puede recuperar hasta un 80 % del condensado que se purga a la atmósfera, remplazo de trampas de vapor averiadas ya que el funcionamiento adecuado de las trampas es fundamental para una buena eficiencia del sistema y ahorro de combustible, implementación de material aislante en la tubería de distribución con el cual el tramo sin aislar de 8,5 metros, distribuidor - área de lavandería disminuiría las pérdidas de calor y temperatura con un 818,145 W y 90,5°C respectivamente.



## SUMMARY

The General Provincial Hospital Latacunga is located in the province of Cotopaxi Latacunga canton. For the present work a thermal analysis was carried out in the steam generation and distribution system of the Latacunga Provincial General Hospital. Natural convection heat losses were determined in the 124,890 kW system. The methodology used to obtain experimental data on surface temperature was based on the application of an electronic equipment (infrared thermometer) to determine the system efficiency of 84% the consumption of water of 3500 gal / day and fuel averaged 74 gal / day was calculated to determine the efficiency of the heat generator of 79.05%, using the Hospital Design Guide for Latin America and the Institute's regulations Mexican Social Security, which allow determining the consumption of steam needed by a hospital with the number of beds available, which yielded values of 1855 lb / h and 1849 lb / h respectively for a total of 162 beds available, alternatives proposed to reduce the losses of heat in the system of generation and distribution of steam which are: installation of the vapor recovery system flash with which it can recover up to 80% of the condensate that is purged to the atmosphere, replacement of damaged steam traps since the proper operation of the traps is fundamental for a good efficiency of the system and saving of fuel, implementation of material insulation in the distribution pipeline with which the uninsulated section of 8.5 meters, distributor - laundry area would decrease heat and temperature losses with 818,145 W and 90,5 ° C respectively.

## **CAPÍTULO I**

### **1. ANTECEDENTES**

#### **1.1 TEMA**

“DIAGNOSTICO TÉRMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN DEL “HOSPITAL GENERAL PROVINCIAL LATACUNGA”.

#### **1.2 ANTECEDENTES**

#### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El interés en controlar y mantener el sistema de generación y distribución de vapor del “Hospital General Provincial Latacunga” radica en garantizar el suministro de vapor a áreas vitales del mismo como esterilización, lavandería y cocina, quienes poseen equipos que utilizan energía generada por vapor para su funcionamiento, por lo que el desarrollo de este proyecto supone un ahorro energético para el hospital debido a que en este proyecto se determinarían las pérdidas de calor por convección y radiación para proponer mejoras en el sistema, y así garantizar a los pacientes un suministro constante de energía hacia los equipos. De esta manera se beneficiará tanto los usuarios del hospital como el directorio del mismo, ya que brindarán la confianza necesaria para que las personas acudan a ser atendidas y hospitalizadas en la institución ya que en el hospital son atendidos anualmente 32,420 pacientes según datos del área de estadística, en las diferentes áreas de atención hospitalaria.

El “Hospital General Provincial Latacunga” cuenta con tres calderos dos de procedencia americana (BOILER) mismos que están fuera de funcionamiento desde hace aproximadamente 3 años y uno de fabricación ecuatoriana (EQUABOILER) que está en funcionamiento las 13 horas del día los siete días de la semana mismos que generan y distribuyen el vapor a todo el sistema térmico del hospital.

Debido a que la vida útil de un caldero es en promedio 20 años, la dirección del hospital está interesada en controlar y mantener los parámetros principales que influyen en el sistema de generación y distribución de vapor; que proporciona el único caldero en funcionamiento y así extender la vida útil del mismo además de garantizar el suministro de vapor a áreas vitales del hospital como esterilización, lavandería y cocina.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diagnosticar el sistema de generación y distribución de vapor mediante un análisis térmico en el área de lavandería y esterilización del “Hospital General Provincial Latacunga

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la eficiencia térmica del sistema de generación y distribución de vapor.
- Estimar el consumo de vapor de los equipos de las áreas de esterilización y lavandería.
- Plantear alternativas para reducir las pérdidas de calor del sistema de generación y distribución.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

Revisada información que se relacione con el tema, se pudo encontrar algunos trabajos realizados con la siguiente descripción, referente a temas hospitalarios y sistemas de generación de vapor, citándose:

Los señores Juan Giovanni Berrones y Christian Giovanni Ponce en su tesis desarrollada en 2013 bajo el tema: **“Auditoria energética del sistema de vapor del hospital de niños Baca Ortiz”** se realizó: un análisis térmico para el cálculo de la eficiencia del sistema de generación de vapor para lo cual propone realizar por el método directo y el método indirecto, para la cual se realiza el cálculo de las pérdidas de calor generadas en el sistema con lo que se obtiene una eficiencia de la caldera del 67,32%. [1]

En la tesis de graduación de la Universidad Técnica de Cotopaxi titulada: **“Evaluación de pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor del hospital “Dr. Julio Enrique Paredes” unidad oncológica Solca Tungurahua, año 2014. Propuesta para optimización del aprovechamiento energético”**. El Ing. Santiago Cabrera propuso: reducir las pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor con lo cual se podrá obtener un gran ahorro energético con lo cual planteó en aprovechar 6,9 kW de los 88,6 kW de calor residual de chimenea para mediante el intercambiador de calor

obtener 108 kg/h adicionales de agua caliente para el uso sanitario, que tiene un incremento del 1,2% en la eficiencia global del proceso de generación de vapor. [2]

En la tesis de graduación realizada en la Escuela Politécnica del Chimborazo titulada: “**Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa “La Ibérica”**”. La estudiante María del Rocío Vargas León analizó la eficiencia de la caldera usando el método directo para el cálculo de la misma teniendo una eficiencia del 86%, con dicho análisis pudo identificar las pérdidas que se estaban generando en el sistema con la cual pudo proponer soluciones técnicas. [3]

La estudiante Glenda Maribel Sánchez Vera en su tesis desarrollada en 2012 bajo el tema: “**Sistema de diagnóstico y generación de vapor de los calderos del hospital Isidro Ayora**” realizó: un diagnóstico térmico en las instalaciones de vapor del hospital con el fin de recopilar información y poder realizar el consumo real de vapor de cada unidad, con la investigación pudo encontrar que existía un 52% en pérdidas por fugas lo cual plantea un rediseño de sistemas para realizar mejoras en el sistema [4].

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1.1 Principios básicos del vapor**

El vapor de agua se utiliza como una fuente de energía térmica para los procesos de transformación, un correcto sistema de distribución y control adecuado de su consumo proporcionarían el aumento de la eficiencia. Esta situación se refleja en los costos de producción de vapor además, el vapor se lo utiliza como energía por su alto grado de eficiencia que conserva una temperatura constante y posee un valor de transferencia de calor elevado, contiene una gran cantidad de energía que puede ser transferible como unidad de masa. [5].

El vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en el cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

### **2.2.1 Generadores de vapor**

La caldera consta de diferentes elementos destinados a la producción de vapor de agua de cualquier otra clase de vapor a partir de su fase líquida, estos elementos son: el hogar o cámara de combustión, la caldera, los sobrecalentadores de vapor y el calentador de aire. Una caldera es una máquina de ingeniería, donde la energía química se transforma en energía térmica [6].

Es común la confusión entre los términos de caldera y generador de vapor, pero la diferencia es que el primero genera vapor sobrecalentado (vapor seco) y el otro genera vapor saturado (vapor húmedo) [6].

### **2.2.2 Tipos de calderas y partes principales**

En el mercado se puede encontrar dos tipos de calderas que son pirotubulares y acuotubulares todo depende si los tubos contienen los gases de la combustión o el agua que se desea transformar en vapor [5].

#### **2.2.2.1 Calderas pirotubulares**

Las calderas pirotubulares tienen como característica principal que los gases de combustión pasan por el interior de tubos los cuales se encuentran inmersos en  $H_2O$ , los gases que circulan por los tubos son los encargados de ceder calor al  $H_2O$ , en las calderas pirotubulares la presión de trabajo normalmente no excede los  $20\text{kg}/\text{cm}^2$  por lo que si se superaría dicha presión se debería aumentar los espesores de carcasa [5].

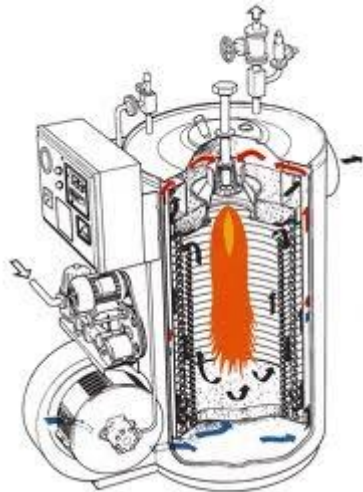


Figura 2- 1: Caldera Pirotubular [7].

### 2.2.2.2 Caldera acuatubular

Las calderas acuatubulares son inversas a las pirotubulares en la cual los gases de combustión circular por la parte externa de los tubos y el  $H_2O$  circula por el interior de los tubos el cual se convertirá en vapor [5].



Figura 2-2: Caldera Acuatubular [7].

### 2.2.2.3 Chimenea

La chimenea es un accesorio muy importante, la cual puede ser de sección circular o cuadrada; por donde circulan los gases que se forman por la combustión. Las chimeneas son elaboradas generalmente de láminas de acero, concreto o ladrillo pero los materiales que se seleccionan para su construcción deben garantizar que exista la resistencia al calor y la corrosión [6].

### 2.2.3 Tanque de almacenamiento de condensados

El tanque de condensado almacena agua tratada que se dirige a los calderos por medio de una bomba y además almacena los condensados que retornan de las líneas de distribución luego de que el vapor haya cedido su energía a los diferentes procesos [6].

### 2.2.4 Formas de transferencia de calor

La transferencia de la energía térmica desde la cámara de combustión donde se quema el combustible, al agua que se encuentra en la caldera se puede dar por tres métodos radiación, conducción y convección [6].

### 2.2.5 Conducción

La conducción se define como la propagación de calor entre dos cuerpos o sobre el mismo cuerpo a diferentes temperaturas, La conducción puede ocurrir en los sólidos, líquidos o gases. Por otro lado la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica del cuerpo, el material, y su diferencia de temperaturas. La transferencia de calor por conducción se puede determinar con la siguiente Ecuación 2-1 [8].

$$Q_{\text{cod}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \text{Ec. 2-1}$$

Donde:

- $k$  = Conductividad térmica del material  $W/(m \cdot K)$
- $A$  = Área de transferencia de calor ( $m^2$ )
- $\Delta x$  = Espesor de la pared plana (m)
- $T_1 - T_2$  = Gradiente de temperatura entre dos puntos (K)



## 2.2.6 Convección

Para Cengel [8], la convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Para el cálculo de convección se puede tener en cuenta la ley del enfriamiento de Newton mostrado en la Ecuación 2-2.

$$Q_{conv} = h_{conv}A_{conv} \cdot (T_{sup} - T_{\infty}) \quad \text{Ec. 2- 2}$$

**Donde:**

- $h_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2 \cdot K$ )
- $A_{conv}$  = Área de transferencia de calor por convección ( $m^2$ )
- $T_{sup}$  = Temperatura de la superficie K
- $T_{\infty}$  = Temperatura del fluido K

### 2.2.8.1 Convección natural sobre superficies

En la transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende: la disposición y orientación de la superficie, su geometría y de las variaciones de temperaturas sobre las superficies y las propiedades termo-físicas del fluido que interviene, existen algunas correlaciones empíricas para el cálculo de un número promedio de Nusselt para convección natural sobre superficies nótese algunas de las correlaciones más usadas en el Anexo A [8].

### 2.2.8.2 Número de Grashof

El número de Grashof es un número adimensional para Cengel [8], el cual es una medida de empuje y fuerza viscosa en posición que actúa sobre el fluido se lo representa con la letra Gr y se lo representa con la Ec. 2- 3.

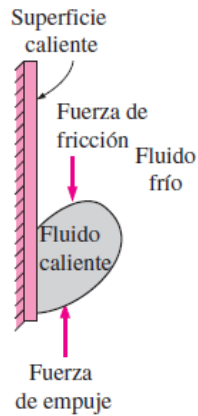


Figura 2-3: Número de Grashof [8].

$$Gr = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_{amb}) L^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 2- 4}$$

Donde:

- $\beta$  = Expansión volumétrica. [1/K]
- $T_s$  = Temperatuta de placa °C
- $T_{amb}$  = Temperatuta de ambiente °C
- $g$  = Gravedad( $m/s^2$ )
- $L$  = Longitud característica de la configuración geométrica(m)
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del aire ( $m^2/s$ )

El coeficiente de expansión volumétrica viene dado por la Ecuación 2-5

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{Ec. 2- 5}$$

Donde:

- $T_f$  = Temperatura promedio °C

### 2.2.8.3 Número de Rayleigh

Es un número que es adimensional y que es parte de la transferencia de calor, en donde es resultado de los productos de Grashof y Prandtl y viene dada por la siguiente Ecuación.

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_{amb}) L^3}{\nu^2} Pr \quad \text{Ec. 2- 6}$$

Donde:

- Pr = Número de Prand

### 2.2.8.4 Número de Nusselt

Para el cálculo del número Nusselt en cilindros verticales viene expresado en base a Rayleigh y Prandtl por la siguiente Ecuación 2-7

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ec. 2- 7}$$

Donde:

- $Nu_x$  = Número de Nusselt
- $Ra_D$  = Número de Rayleigh
- Pr = Número de Prandtl

Todos los números adimensionales anteriormente descritos son utilizados para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección la cual viene dada por la Ecuación 2-8.

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad \text{Ec. 2- 8}$$

Donde:

- $Nu_x$  = Número de Nusselt
- k = Conductividad térmica (W/m. K)

- $h_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2 \cdot K$ )
- $D$  = Diámetro de la tubería (m)

### 2.2.7 Radiación

La radiación es la transmisión de calor entre dos cuerpos no es necesario que existan contacto entre dichos cuerpos como indica en Incropera [9], la radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita la cual propone las siguientes ecuaciones 2-9 y 2-10 para el cálculo del calor por radiación.

$$Q_{rad} = h_{rad}A_s(T_s - T_{alred}) \quad \text{Ec. 2- 9}$$

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ec. 2- 10}$$

Donde:

- $h_{rad}$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación  $W/m^2 \cdot K$
- $A_s$  = Área de la superficie ( $m^2$ )
- $\varepsilon$  = Emisividad de la superficie
- $\sigma$  = Constante de Boltzman  $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$
- $T_s$  = Temperatura superficial (K)
- $T_{alred}$  = Temperatura de los alrededores (K)

### 2.2.8 Pérdidas de calor sensible de los humos de chimenea

El calor perdido en los gases debe ser considerado como la mayor pérdida de calor del sistema y el cual se debe tener mayor control por lo cual SIEGERT [10] plantea la siguiente Ecuación 2-11.

$$Q_{ch} = K * \frac{T_h - T_a}{\%CO_2} \quad \text{Ec. 2- 11}$$

Donde

- $Q_{ch}$  = Pérdidas de calor sensible de los humos de chimenea (%)
- $K$  = Constante que varía según la clase de combustible: ( $^{\circ}C^{-1}$ )
- $T_h$  = Temperatura de los gases de escape ( $^{\circ}C$ )
- $T_a$  = Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )
- $\%CO_2$  = Porcentaje en volumen de dióxido de carbono

La constante  $K$  conocida como constante de Hassenstein según SIEGERT [10] se la determina mediante la Tabla 2-1.

Tabla 2- 1: Valor de la constante  $K$  para Siegart [10].

| Combustible              | Constantes $K$   |                  |
|--------------------------|------------------|------------------|
|                          | $^{\circ}C^{-1}$ | $^{\circ}F^{-1}$ |
| Coque                    | 0,76             | 0,39             |
| Carbón antracita         | 0,68             | 0,38             |
| Carbón bituminoso        | 0,63             | 0,35             |
| Petróleo (sus derivados) | 0,56             | 0,31             |
| Gas de ciudad            | 0,45             | 0,25             |
| Gas natural              | 0,38             | 0,21             |

## 2.2.9 Eficiencia en calderas

### 2.2.9.1 Método directo para el cálculo de eficiencia

Para Vargas [3], el cálculo de la eficiencia térmica de calderas se tiene dos métodos de cálculo el método directo y el método indirecto, el cálculo de la eficiencia en la caldera por el método directo se tiene, la relación entre la energía aprovechada en la transformación que se realiza al  $H_2O$  a vapor y de la energía

proporcionada por el combustible su resultado se expresa el porcentaje para el cálculo se lo realiza con la Ecuación 2-12.

$$\eta_{caldera} = \frac{\Delta m_{vapor}(h_v - h_{H_2O})}{\Delta m_{combustible} \times HHV_{combustible}} \times 100 \quad \text{Ec. 2- 12}$$

Donde:

- $\Delta m_{vapor}$  = Flujo de vapor generado
- $\Delta m_{combustible}$  = Consumo de combustible de la caldera
- $h_v$  = Entalpía del vapor generado
- $h_{H_2O}$  = Entalpía del agua de alimentación
- $HHV_{combustible}$  = Poder calorífico inferior del combustible

### 2.2.9.2 Método indirecto para el cálculo de eficiencia

Para el cálculo de la eficiencia por el método indirecto se puede obtenerse del balance de energías, considerando la energía aprovechada y la energía entregada donde se tiene que evaluar todas las pérdidas que se tiene en el sistema de generación y distribución de vapor, se puede utilizar la siguiente Ecuación 2-13.

$$\eta = \frac{E_{entrada} - Pérd}{E_{entrada}} \quad \text{Ec. 2- 13}$$

Donde:

- $E_{entrada}$  = Energía entregada al sistema
- Pérd = Pérdidas en el sistema

### 2.2.10 Estimación del consumo de vapor

El vapor es indispensable en las áreas de: esterilización, lavandería y cocina ya que la mayoría de los equipos de dichas áreas utilizan energía de vapor.

### 2.2.10.1 Área de esterilización

#### 2.2.10.1.1 Autoclave

Los autoclaves son recipientes metálicos de paredes resistentes y cierre hermético, que sirven para la esterilización de equipos, materiales reusables, mediante la combinación de tiempo, calor y presión, con vapor de agua. El tiempo de uso para realizar el proceso es de 30 minutos mínimo [12].

Estos equipos funcionan permitiendo la entrada de vapor pero restringiendo su salida, hasta obtener una presión interna de aproximadamente 103 kPa, lo cual provoca que el vapor alcance una temperatura de 121 °C. El consumo de vapor varía dependiendo de del tamaño del equipo pero puede ir de 32 a 216 kg/h según el Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS). Se puede apreciar un esquema de un esterilizador o autoclave en la Figura 2-4 [12].

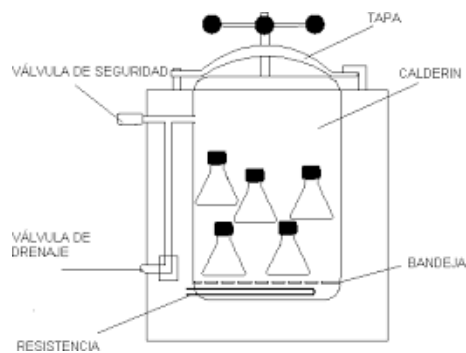


Figura 2-4: Esquema de esterilizador o autoclave [11].

#### 2.2.10.1.2 Destilador de agua

Este destilador permite obtener agua de gran pureza a partir de agua potable. Esta agua destilada se caracteriza por carecer de sólidos, y se utiliza en varias aplicaciones en especial en servicios de salud, como áreas de lavado, esterilización, dietética, laboratorio.

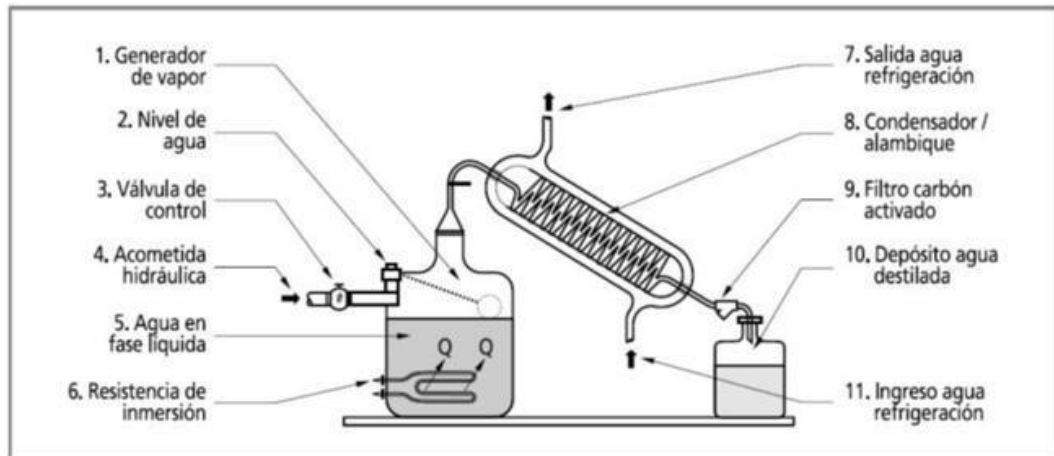


Figura 2-5: Esquema de destilador de agua [12].

### 2.2.10.2 Área de esterilización

En esta área está la mayor demanda de vapor de un hospital, por la necesidad de que la indumentaria tanto de los pacientes como de los doctores esté completamente limpia y esterilizada. Los quipos que se encuentran en esta área necesitan una mayor presión de funcionamiento, aproximadamente de 690 kPa, esto se debe mayormente al material con los cuales son elaborados y también por el tipo de trabajo que desempeñan. Los equipos más utilizados en esta área son: calandras, prensas, lavadoras, secadoras, etc [12].

#### 2.2.12.1.1 Calandra

Calandra es un equipo diseñado para ahorrar tiempo, energía y esfuerzo. La máquina está compuesta de varios cilindros giratorios cuyo funcionamiento es electromecánico y un rodillo calentado generalmente por vapor, el mismo que sirve para prensar y satinar ciertas telas. El consumo de vapor de estas máquinas dependiendo de su tamaño va de 6 a 32 kg/h [9].

En la Figura 2-6 se observa el esquema de una calandra en funcionamiento, donde se puede distinguir colectores de vapor, de condensado y entrada de vapor.





*Figura 2-6: Manual de Spirax Sarco [13].*

### **2.2.12.1.2 Prensa de vapor**

La prensa es una maquina universal capaz de planchar con gran eficiencia y rigidez, garantizando una buena calidad en el planchado y un menor esfuerzo para el operador. En la Figura 2-7 se puede observar una prensa de vapor [9].



*Figura 2-7: Prensa a vapor para uso hospitalario [14].*

### 2.2.12.1.3 Secadoras

La secadora es una máquina que se utiliza para secar ropa después del proceso de lavado, funciona básicamente con el ingreso de aire caliente en el interior del tambor giratorio dentro del cual la ropa húmeda de vueltas lentamente. En la Figura 2-8 se aprecia a una secadora a vapor [10].

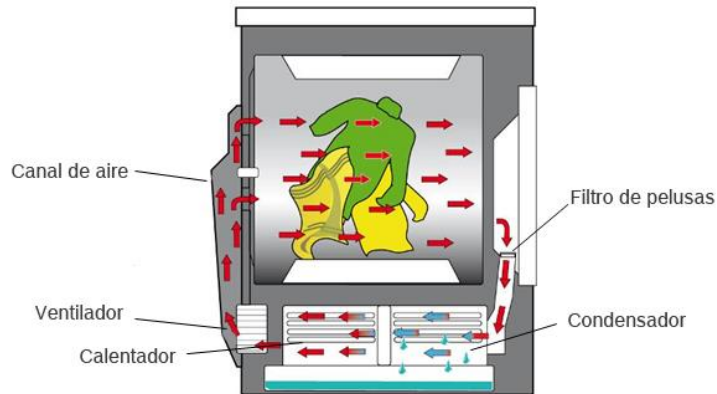


Figura 2-8: Esquema de una secadora a vapor [15].

### 2.2.11 Distribuidor de vapor

El sistema de vapor es muy importante ya que funciona como un enlace entre la fuente que genera el vapor y el usuario; donde la fuente que genera calor es una caldera o una planta de cogeneración la cual debe generar vapor de óptima calidad, con condiciones de caudal y presión requeridas por el sistema, tener mínimas pérdidas de calor y siempre llevar a cabo un mantenimiento adecuado [16].

### 2.2.12.1 Fundamentos de los sistemas de vapor

El vapor generado en la caldera es conducido por medio de tuberías conectadas adecuadamente hasta el punto de consumo de la energía calorífica. Al inicio puede existir uno o más tuberías principales que transporten el vapor hacia la planta de consumo del vapor. Otras tuberías derivadas de las mismas son las encargadas de transportar el vapor a los equipos [17].

Cuando la válvula de la salida de la caldera está abierta, el vapor generado por la misma circula inmediatamente a las tuberías principales donde las tuberías inicialmente están frías por lo cual inicialmente el vapor transfiere calor al medio ambiente que rodea las tuberías que transportan el vapor y en consecuencia, la tubería transfiere calor al medio ambiente en donde existe un intercambio de calor. Cuando el vapor comienza a fluir a un medio más frío, comenzará un proceso de condensación rápidamente, una vez puesta en marcha el sistema la cantidad de condensado que se genere será mayor ya que el vapor se utilizará para calentar la tubería que se encuentra fría a dicho fenómeno se lo denomina como “carga puesta en marcha” una vez las tuberías hayan sido calentadas no dejará de generarse condensado, debido a que las tuberías siguen transfiriendo calor al ambiente a este fenómeno se lo denomina “carga de funcionamiento” [17].

El condensado que resulta producto de lo anteriormente mencionado se ubica en la parte inferior de la tubería y es arrastrado en dirección del flujo de vapor y por la gravedad del sistema; por lo cual el condensado se debería purgar en los puntos más bajos de la red de distribución. [17]

Cuando la válvula de la tubería de vapor que alimenta a un equipo está abierta, el flujo de vapor que proviene del sistema de distribución entra a la planta y de nuevo entra en contacto con superficies más frías. Entonces el vapor cede su energía para calentar el equipo (carga de puesta en marcha) y continúa transfiriendo calor al proceso (carga de funcionamiento) y condensando en agua (condensado) [17].

El condensado formado tanto en la tubería de distribución como en los equipos de proceso es agua ya caliente y preparada para alimentar de nuevo a la caldera. Aunque es importante evacuar el condensado del espacio del vapor, se trata de un elemento demasiado valioso como para desaprovecharlo. El circuito de vapor básico debe completarse con el retorno del condensado al tanque de alimentación de la caldera, siempre que sea factible. En la Figura 2-9 se puede observar un circuito típico de vapor [17].

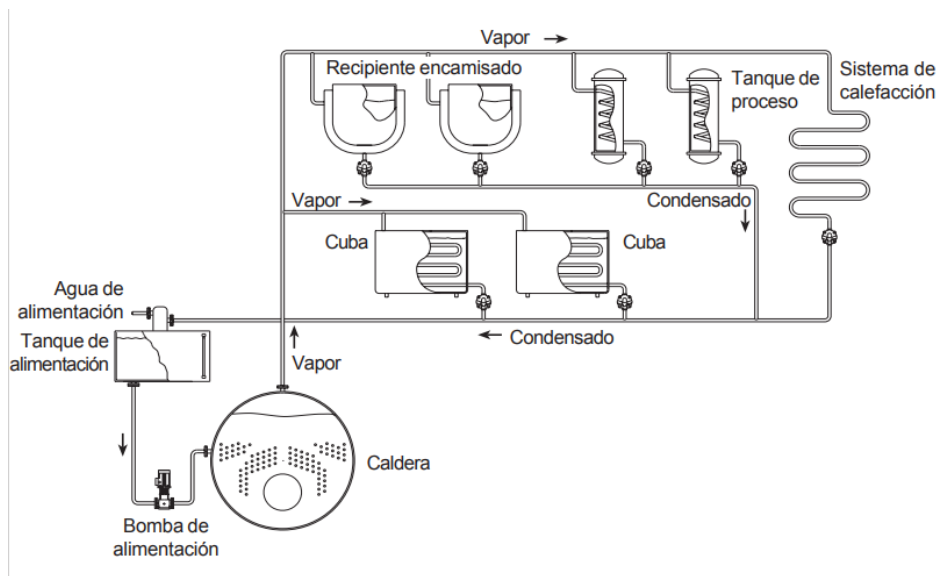


Figura 2-9: Esquema de circuito típico de vapor [16].

### 2.2.12.2 Recuperación de calor de purgas de caldera

El objetivo de instalar un sistema de recuperación de vapor es aprovechar el calor y agua de la purga para aumentar la eficiencia de la energía y del sistema, las calderas de vapor realizan purgas para poder controlar el nivel de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua de caldera, para realizar el sistema de control de los (TDS) se abre una válvula la cual permitirá purgar cuando el límite máximo permitido rebasa. Hasta el 80% del calor del agua de purga se puede recuperar siempre y cuando se instale un sistema adecuado de recuperación [16].

### 2.2.12.3 Funcionamiento

El revaporizado se libera del agua caliente de purga cuando la presión cae después de la válvula de control de purga de los TDS. Esta mezcla de revaporizado y agua de purga puede ser separada en el tanque de revaporizado. El diseño del tanque asegura que las velocidades se mantengan bajas para obtener una buena separación. Este revaporizado a baja presión se introduce en el tanque de almacenamiento de agua de alimentación a través de un distribuidor o un cabezal desaireador y condensador de revaporizado [16].

Un purgador de boya montado en la salida inferior del tanque de revaporizado, descarga el agua residual de purga. Desde la descarga del purgador de boya, el agua residual de purga, que aún está caliente, pasa por un intercambiador de calor donde transmite su calor al agua fría de reposición. A continuación, el agua de purga ya enfriada puede descargarse sin problema al alcantarillado. Para conservar energía, un termostato instalado a la entrada del agua de purga al intercambiador de calor activa la bomba de recirculación. De este modo, únicamente operará cuando haya flujo de agua de purga [17].

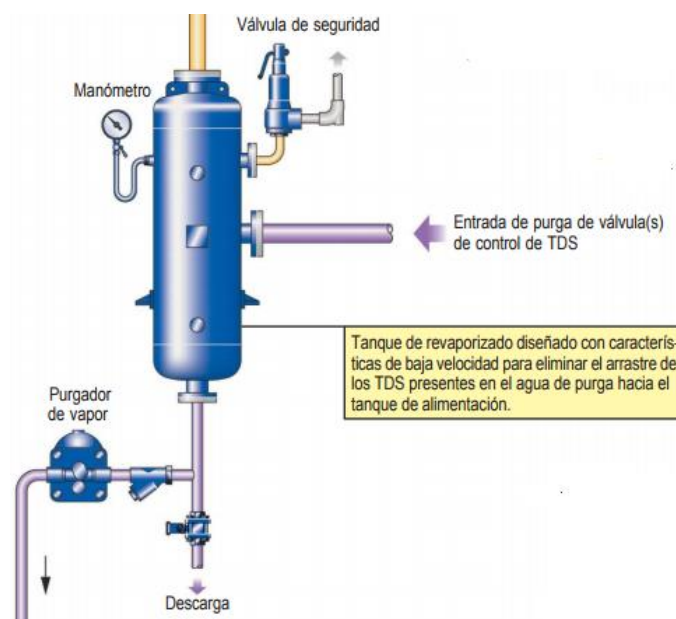


Figura 2-10: Esquema del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor [16].

### 2.2.12 Trampas de vapor

Una trampa o purgador es esencial en un sistema de vapor, el cual es encargado de evacuar el condensado que se forman en los circuitos. Los condensados formados se sitúan en los puntos más bajos de la red, para la evacuación puede realizarse de forma manual, pero este método no es el adecuado porque el operario tiene que realizar una revisión continua en toda la red por lo que se requiere instalar trampas de vapor automáticas las cuales se encarguen de mantener la sistemas libre de condensado [4].

### 2.2.12.1 Clasificación de las trampas de vapor

Las trampas de vapor existen de varios tipos según su funcionamiento, cada una de ellas tiene aplicaciones específicas dependiendo de instalación y condiciones de uso, entre las cuales se tiene [4].

- Trampas Termostáticas
- Trampas Mecánicas
- Trampas Termodinámicas

#### 2.2.12.1.1 Trampas termostáticas

Las trampas termostáticas trabajan con las variaciones de temperatura donde la temperatura del vapor saturado viene fijada por su presión. Las características de las trampas de vapor termostáticas son de descarga continua del condensado, resisten los golpes de ariete por otro lado puede la suciedad obstruir los orificios de descarga por lo que se debe tener un mantenimiento adecuado [4].

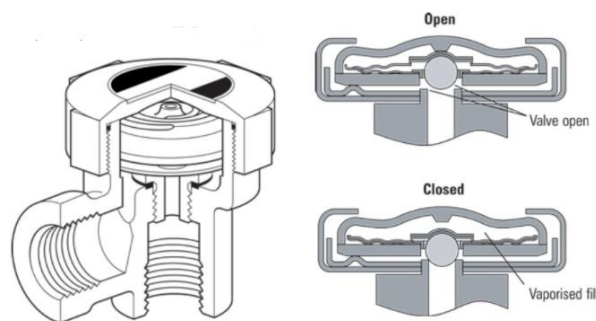


Figura 2-11: Trampa termostática [3].

#### 2.2.12.1.2 Trampas mecánicas

Su principal cualidad es que trabajan con la variación de densidad del fluido. Su funcionamiento es basada entre la diferencia de densidad que tiene el vapor y el condensado se tiene de dos tipos los cuales son [4]:

- **Trampas tipo flotador**

Las trampas de flotador poseen una cámara con un flotador o boya donde se acumula el condensado el cual una sube su nivel mientras se acumula el condensado en la cámara hasta llegar a la parte superior y abrir para ser purgado el condensado. Entre sus características podemos destacar que la descarga de condensado es de forma continua no existe fugas de vapor vivo pero su desventaja es que no resiste los golpes de ariete [4].

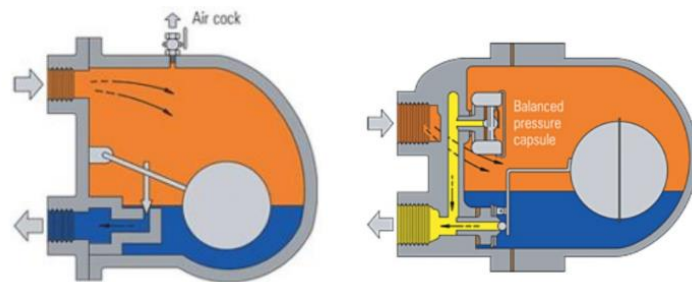


Figura 2-12: Trampa tipo flotador [3].

- **Trampa mecánica de balde invertido**

Las trampas de balde invertido tiene menores perdidas cuando trabaja a condiciones de baja carga lo cual se debe a las pérdidas de vapor atreves del orificio de venteo. Para su funcionamiento es que cuando el arranque el balde invertido esta abajo la válvula esta complemente abierta, por lo que le vapor entra en le balde invertido lo que causas que este flote y cierre la válvula de descarga, pero cuando el condensado comienza a llenar el balde este permite que la palanca comience a bajar la palanca de la válvula para poder purgarse. Excelente para trabajar a presiones constante, la vida útil es muy alta, resistente a los golpes de ariete la descarga de condensado es intermitente [4].

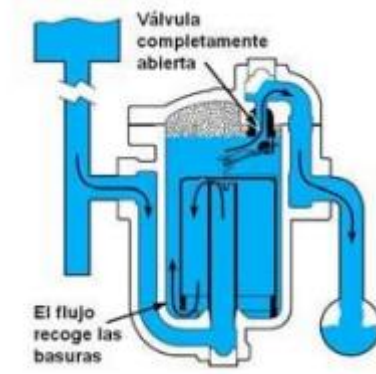


Figura 2-13: Trampa mecánica balde invertido [3].



## **CAPÍTULO III**

### **3. DISEÑO DEL PROYECTO**

#### **3.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

A continuación, se hará un diagnóstico rápido de las condiciones de operaciones, de todo el sistema el sistema de generación y distribución de vapor, detallándose:

##### **3.1.1 Casa de máquinas**

En la casa de máquinas del hospital se encuentran los equipos de los sistemas de: generación de vapor, aire comprimido y producción de agua caliente, yendo a ser analizado el sistema de generación de vapor en el desarrollo de este trabajo técnico. La casa de máquinas funciona por alrededor de 13 horas diarias continuamente, en el cual se desenvuelven la mayoría de actividades del hospital en lo que tiene que ver con limpieza y esterilización de equipos.

La casa de máquinas está a cargo del Ing. Diego Hidalgo siendo él que monitorea el correcto funcionamiento de la misma y del mantenimiento que llegue a necesitar. La casa de máquinas ha venido en funcionamiento desde el año 1972, remplazándose ciertos componentes, uno de ellos la caldera siendo reemplazada en año 2013, otros han sido mantenidos desde su inauguración.

### 3.1.2 Ubicación del Hospital Regional Latacunga

El Hospital General Provincial de Latacunga, se encuentra ubicado en el cantón Latacunga perteneciente a la provincia Cotopaxi, Ecuador.

La casa de máquinas del hospital, donde se encuentran ubicadas las calderas, está en el lado sureste del hospital. El área de lavandería con todos sus equipos es contigua a la casa de máquinas.

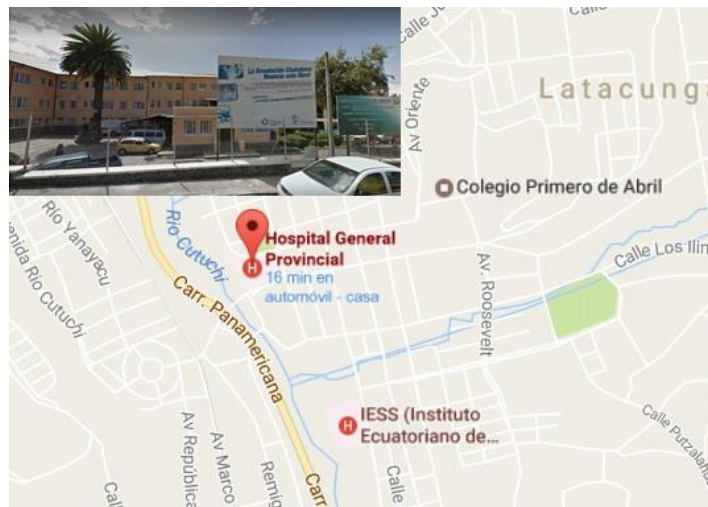


Figura 3-1: Ubicación Hospital General Latacunga.

### 3.1.3 Esquema general del sistema

El área de lavandería cuenta con una sola línea de distribución para sus equipos, la que se encarga de distribuir el vapor a las tres lavadoras, dos secadoras y una planchadora que componen el área de lavado y secado del hospital en mención. El esquema de distribuidor de vapor existente en el hospital se muestra en la Figura 3-2.

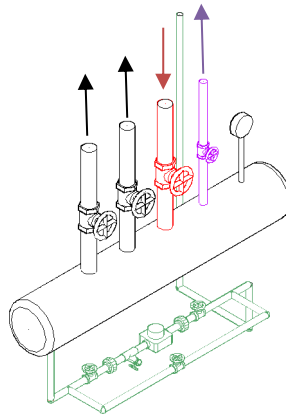


Figura 3-2: Manifold de vapor.

### 3.1.4 Caldera

Como se mencionó anteriormente el sistema de generación de vapor cuenta con una caldera pirotubular, la que viene funcionando desde el 15 de junio de 2015, la información técnica podemos observar en la Tabla 3-1 y Figura 3-3.



Figura 3-3: Caldera de vapor pirotubular.



Figura 3-4: Placa de información de caldera de vapor pirotubular.

El caldero ha sido fabricado por la empresa ecuatoriana Ecuaboiler, empresa industrial del sector metalmecánico, dedicada a la construcción de calderas y

recipientes de presión para toda aplicación, con más de 18 años de experiencia en el mercado nacional e internacional, la que cumple estándares internacionales en la construcción de calderas y recipientes de presión según la Norma ASME, otorgando el sellos ASME en todos sus productos.

*Tabla 3-1: Información técnica de la caldera pirotubular.*

| FICHA TÉCNICA           |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| Marca                   | Ecuaboiler                    |
| Modelo                  | PH-ST-DR-100-150-2            |
| Tipo                    | Pirotubular                   |
| Año de construcción     | 2013                          |
| Potencia                | 980,90 kW – (3.347.000 BTU/h) |
| Max.cap.gen.vapor       | 1564,894 kg/h- (3.450 lb/h)   |
| Presión de diseño       | 10,3421 Bar-(150 PSI )        |
| Presión de trabajo      | 9,30792 Bar –(135 PSI)        |
| Cantidad de combustible | 113,5 lt/h –(30 gal/h)        |
| Combustible que utiliza | Diésel filtrado               |

### **3.1.5 Combustible**

El combustible que la llama piloto de esta caldera acciona es diésel filtrado N° 3, el cual se encuentra almacenado en dos tanques subterráneos de 2000 galones y 1000 galones respectivamente, que se muestran en la Figura 3-5. El abastecimiento de combustible para llenar los tanques de almacenamiento se lo realiza cada 15 días aproximadamente, mediante tanqueros.



*Figura 3-5: Depósitos de diésel filtrado N°3.*

### **3.1.6 Tanque diario de combustible**

El tanque diario con el que cuenta el hospital para la alimentación del hogar del caldero tiene una capacidad de 100 galones. El combustible llega a este tanque mediante el impulso de una bomba centrífuga de 1,5 kW (2HP), como se indica en la Figura 3-6.



*Figura 3-6: Bomba Centrífuga 2HP.*

### **3.1.7 Consumo de combustible**

Los datos de consumo de combustible se los ha venido registrando desde hace cuatro años atrás, llenándose en la bitácora de operación del caldero el combustible que se consumió en el turno de funcionamiento del mismo (alrededor de 13 horas diarias), en la cual constan los valores consumidos por día, el informe obtenido presenta el promedio de los meses manifestados de consumo de combustible, teniéndose una media de alrededor de 2500 galones

mensuales. En las Figuras 3-7 y Figura 3-8 podemos observar la variación de consumo de combustible que ha existido en los años 2015 y 2016.

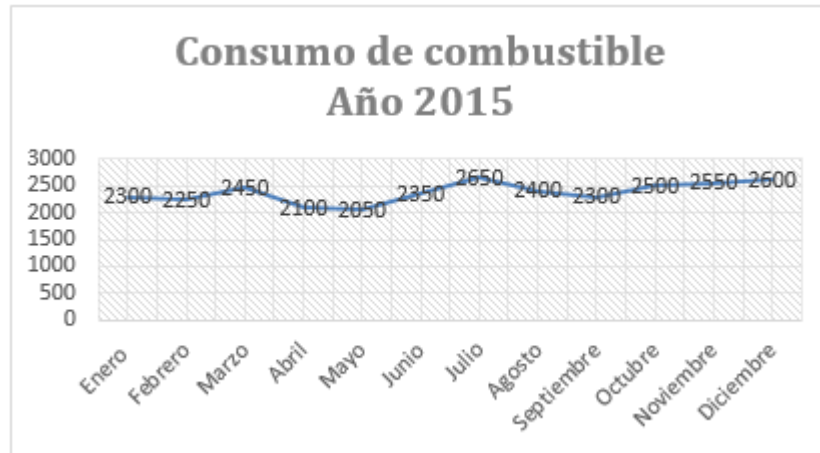


Figura 3-7: Variación de consumo de combustible 2015; Fuente: Ing. Diego Hidalgo- Jefe de mantenimiento.



Figura 3-8: Variación de consumo de combustible 2016; Ing. Diego Hidalgo- Jefe de mantenimiento.

### 3.1.8 Suministro de agua

El hospital adquiere el agua de la red pública de agua potable y se almacena en un tanque reservorio de 200 m<sup>3</sup>. El cual distribuye agua para la alimentación del caldero con presión atmosférica constante. El agua recorre de la cisterna hasta un banco de presión previo a la línea de suministro de la caldera.



*Figura 3-9: Almacenamiento y suministro de agua a la caldera.*

### **3.1.9 Tanque de tratamiento de agua**

Una vez que el agua se encuentra en el banco de presión constante pasa por un previo tratamiento químico antes de su ingreso a la caldera, con el fin de eliminar durezas propias del agua que afectan en la generación de vapor, contribuyendo a la formación de residuos calcáreos en la tubería de la caldera. Para lo cual utilizan un sistema electrónico el cual es el encargado de suministrar el químico desincrustante de dureza de agua, como se observa en la Figura 3-10. La demanda de este químico anualmente es de 960 kg.



*Figura 3-10: Sistema de ablandamiento del agua.*

### **3.1.10 Sistema de distribución de vapor**

El sistema de distribución de vapor es el elemento que se encarga de recibir el vapor proveniente de la caldera, para posteriormente distribuirlo según como corresponda a las diferentes áreas de consumo mediante una serie de conexiones de líneas distribución. El sistema de generación de vapor que posee el hospital se lo puede observar en la Figura 3-11 teniéndose la distribución de las áreas de lavandería y esterilización.



*Figura 3-11: Sistema de distribución de vapor.*

### **3.1.11 Tuberías de distribución**

El área de lavandería cuenta con una línea de distribución de tubería de hierro negro de alta presión de ½” de diámetro con cedula 40, esta línea se encarga de distribuir vapor a las tres lavadoras, dos secadoras y una planchadora. Mientras que el área de esterilización cuenta con una sola línea de distribución que esta acoplada a la autoclave del hospital. Las tuberías cuentan con un deteriorado sistema de asilamiento, existiendo fugas perceptibles de energía a través de calor.



*Figura 3-12: Línea de destrucción de vapor – lavandería.*





Figura 3-13: Línea de destrucción de vapor – esterilización.

## 3.2 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

### 3.2.1 Eficiencia del sistema de generación de vapor

Para el análisis de la eficiencia de la caldera se utilizó un medidor de flujo para determinar la cantidad de agua que utiliza el caldero dato que será utilizado para formula de la eficiencia como se muestra en la Ecuación 2-12.

El flujo de vapor generado ( $\Delta m_{vapor}$ ) se determina estimando el consumo total de agua durante una jornada de trabajo siendo 3500 lt utilizados en dicha jornada por lo que:

$$\Delta m_{vapor} = 3500 \text{ Kg}$$

El consumo de combustible ( $\Delta m_{combustible}$ ) de la caldera está dado por la densidad del combustible y el volumen utilizado en una jornada de trabajo.

$$T_{H_2O} = 45^{\circ}C$$

$$h_{H_2O} = 188,44 \frac{kJ}{kg}$$

$$P_{promedio\ caldera} = 95\ psi = 655,02\ kPa$$

$$h_v = 2759,92 \frac{Kj}{kg}$$

$$\Delta m_{combustible} = \delta * v$$

$$\Delta m_{combustible} = 832 \frac{Kg}{m^3} * 0,3182m^3 = 264,76\ Kg$$

$$\eta_{caldera} = \frac{3500\ kg\ (2759,92Kj/Kg - 188,44Kj/Kg)}{264,76\ Kg\ x43000Kj/Kg} x100$$

$$\eta_{caldera} = 79,05\%$$

### 3.3 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Se aplica el método indirecto que implica la determinación de las pérdidas térmicas que en el caso del hospital se refieren a caldera, chimenea y líneas de distribución, para a partir de ese resultado determinar la eficiencia térmica.

El procedimiento para el cálculo está compuesto por:

- a. Medición de temperaturas por el medio ambiente y las superficies térmicamente expuestas durante la jornada operación; obteniendo al menos una medición por hora
- b. Determinación de las temperaturas promedio.
- c. Cálculo de coeficientes de transferencia de calor por convección natural en paredes planas y cilíndricas de la caldera y paredes cilíndricas de la chimenea.
- d. Cálculo de coeficientes de transferencia de calor por radiación en paredes planas y cilíndricas de la caldera y paredes cilíndricas de la chimenea.
- e. Cálculo de pérdidas térmicas por convección y radiación.
- f. Determinación de eficiencia térmica del sistema de generación y distribución de vapor del hospital.

### 3.3.1 Pérdidas por convección y radiación en la caldera

#### 3.3.1.1 Pérdidas de calor por convección en paredes planas de la caldera

Para el cálculo de las pérdidas de calor por convección de la pared plana frontal de la caldera se utilizaron los datos que se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Datos para el cálculo de la pérdida de calor por convección pared frontal.

| DATOS  |                        |
|--|------------------------|
| Diámetro exterior de la caldera en (m)           | 1,80                   |
| Área frontal de transferencia de calor ( $m^2$ ) | 2,54                   |
| Temperatura superficial de la placa (K)          | 391                    |
| Temperatura ambiente (K)                         | 298                    |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}C$ )             | 71,5                   |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                      |                        |
| Conductividad térmica ( $W/m^2s$ )               | 0,0289                 |
| Viscosidad cinemática del aire ( $m^2/s$ )       | $2,010 \times 10^{-5}$ |
| Número de Prandtl para el aire                   | 0,717                  |

Hallamos el valor de la expansión volumétrica reemplazando la temperatura ambiente en grados K en la Ecuación 2-5:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{344,5} = 00290276$$

Para la obtención de número de Rayleigh aplicamos la Ecuación 2-6:

$$Ra_D = \frac{(9,8m/s^2) \cdot \left(\frac{1}{344,5K}\right) (391K - 298K) (1,80m)^3}{(2,010 \times 10^{-5} m^2/s)^2} * 0.717$$

$$Ra_D = 27409889569$$

Para todo intervalo de Rayleigh

Al aplicar la Ecuación 2-7 para obtener Nusselt se tiene el siguiente valor:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * 27409889569^{1/6}}{[1 + (0,559/0.717)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 341,501$$

Remplazando los valores encontrados de Nusselt, conductividad térmica y diámetro; en la Ecuación 2-7 se obtiene el siguiente resultado:

$$h = \frac{0,0289W/(m^{\circ}K)}{1,80} * 341,501$$

$$h = 5,4829 W/m^2K$$

Una vez determinado el coeficiente de transferencia de calor por convección se calcula las pérdidas de calor de la pared plana frontal aplicando la Ecuación 2-2

$$Q = (5,36W/m^2K) * (2,26 m^2) * (391 - 298)^{\circ}C$$

$$Q = 1295,19 W$$

Para el cálculo de las pérdidas de calor por convección de la pared plana posterior de la caldera se utilizaron los datos que se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Datos para el cálculo de la pérdida de calor por convección pared posterior.

| DATOS  |                        |
|--|------------------------|
| Diámetro exterior de la caldera en (m)                     | 1,70                   |
| Área posterior de transferencia de calor (m <sup>2</sup> ) | 2,26                   |
| Temperatura superficial de la placa (K)                    | 345                    |
| Temperatura ambiente (K)                                   | 298                    |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                                |                        |
| Temperatura promedio (°C)                                  | 47,5                   |
| Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> s)                 | 0,02717                |
| Viscosidad cinemática del aire (m <sup>2</sup> /s)         | 1,774x10 <sup>-5</sup> |
| Número de Prandtl para el aire                             | 0,723                  |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 0,003120$$

$$Ra_D = 16237406448$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 289,5$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = hA(T_s - T_{amb})$$

$$Q = 552,37 \text{ W}$$

### 3.3.1.2 Pérdidas de calor por convección en la periferia de la caldera

En la periferia de la caldera hay que considerar dos disposiciones de la periferia, estas son: periferia aislada y periferia no aislada. Por lo que para la periferia aislada se utilizan los datos que se muestran en la Tabla 3-4

Tabla 3-4: Datos para el cálculo de pérdidas por de calor convección en la periférica de la caldera.

| DATOS  |         |
|--|---------|
| Diámetro exterior de la caldera en (m)                     | 1,80    |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ ) | 15,26   |
| Longitud de la caldera (m)                                 | 2,70    |
| Temperatura superficial de la placa (K)                    | 308     |
| Temperatura ambiente (K)                                   | 298     |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )                | 30      |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                                |         |
| Conductividad térmica ( $\text{W/m}^2\text{s}$ )           | 0,02588 |

|  |                        |
|--|------------------------|
| Viscosidad cinemática del aire ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | $1,608 \times 10^{-5}$ |
| Número de Prandtl para el aire                           | 0,7282                 |

Los valores como el gradiente de expansión volumétrica el número de Rayleigh, Nusselt y el coeficiente de conductividad térmica se calcula de la misma forma que para las paredes planas:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{345.5} = 0,003120$$

$$Ra_D = 5317683435$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = 197,370$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$Q = h \cdot A(T_s - T_{amb})$$

$$Q = 433,03 \text{ W}$$

Tabla 3-5: Datos para el cálculo de pérdidas por de calor convección en la periférica de la caldera sin aislar.

| DATOS  |                        |
|--|------------------------|
| Diámetro exterior de la caldera en (m)                     | 1,70                   |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ ) | 2,40                   |
| Temperatura superficial de la placa (K)                    | 345                    |
| Temperatura ambiente (K)                                   | 298                    |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )                | 47,5                   |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                                |                        |
| Conductividad térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{s}$ )    | 0,02717                |
| Viscosidad cinemática del aire ( $\text{m}^2/\text{s}$ )   | $1,783 \times 10^{-5}$ |
| Número de Prandtl para el aire                             | 0,7224                 |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{345.5} = 0,003110$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 16015337174$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{\frac{1}{6}}}{[1 + (0,559/Pr)^{\frac{9}{16}}]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$Nu = 280,660$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,497 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A (T_s - T_{amb})$$

$$Q = 507,28 \text{ W}$$

### 3.3.1.3 Pérdidas de calor por radiación en paredes planas de la caldera

Para la determinación de las pérdidas de energía por radiación así como sus coeficientes emitidos por las paredes planas y periféricas de la caldera se utilizó la Ecuación 2-10. Los datos para la obtención de pérdidas de calor en paredes planas se muestran en las Tablas 3-6 y 3-7.

Tabla 3-6: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared frontal.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Área frontal de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )              | 2,54     |
| Emisividad del material (cara frontal) (Anexo B)                     | 0,04     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 391      |
| Temperatura ambiente (K)   | 298      |

$$Q_{rad1} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad1} = 89,03 \text{ W}$$

Tabla 3-7: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la pared posterior.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Área posterior de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )            | 2,26     |
| Emisividad del material (cara posterior) (Anexo B)                   | 0,44     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 345      |
| Temperatura ambiente (K)   | 298      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 354,12 \text{ W}$$

#### 3.3.1.4 Pérdidas de calor por radiación en periferias de la caldera

Para la determinación de las pérdidas de energía por radiación emitidas por las periferias aisladas y sin aislar de la caldera se utilizó la Ecuación 2-10. Los datos para la obtención de pérdidas de calor por radiación en periferias de la caldera se muestran en las Tablas 3-8 y 3-9.



Tabla 3-8: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en el área cilíndrica aislada.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )           | 15,26    |
| Emisividad del material (Anexo B)                                    | 0,04     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 308      |
| Temperatura ambiente (K)   | 296      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 45,77 \text{ W}$$

Tabla 3-9: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en el área cilíndrica sin aislar.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )           | 13,571   |
| Emisividad del material (Anexo B)                                    | 0,04     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 345      |
| Temperatura ambiente (K)   | 296      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 199,767 \text{ W}$$

### 3.3.2 Pérdidas por convección y radiación en el tanque de condensado

#### 3.3.2.1 Pérdidas de calor por convección en paredes frontal y posterior

Para el cálculo de las pérdidas de calor por convección en las paredes frontal y posterior del tanque de condensado se utilizaron los datos que se muestran en la Tablas 3-10.

Tabla 3-10: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en paredes frontal y posterior.

| DATOS  |                        |
|--|------------------------|
| Diámetro exterior del tanque de condensado (m)           | 0,8                    |
| Área frontal de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )  | 0,502                  |
| Temperatura superficial de la placa (K)                  | 340                    |
| Temperatura ambiente (K)                                 | 296                    |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )              | 45                     |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                              |                        |
| Conductividad térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{s}$ )  | 0,02669                |
| Viscosidad cinemática del aire ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | $1,750 \times 10^{-5}$ |
| Número de Prandtl para el aire                           | 0,7242                 |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{344.5} = 003144$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 1643413870$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 135,80$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,53 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A(T_S - T_{amb})$$

$$Q = 2 * 100,77 \text{ W}$$

Se multiplica por dos para obtener el valor total de las pérdidas de calor en las paredes del tanque de condensado tomando en cuenta que las dos paredes poseen las mismas características y dimensiones:

$$Q = 201,54 \text{ W}$$

### 3.3.2.2 Pérdidas de calor por convección en la periferia del tanque

Tabla 3-11: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la periferia del tanque.

| DATOS   |                        |
|---|------------------------|
| Diámetro exterior del tanque de condensado (m)              | 0,8                    |
| Longitud del tanque de condensado (m)                       | 1,5                    |
| Área cilíndrica de transferencia de calor (m <sup>2</sup> ) | 3,76                   |
| Temperatura superficial de la placa (K)                     | 340                    |
| Temperatura ambiente (K)                                    | 296                    |
| Temperatura promedio (°C)                                   | 45                     |
| DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C                                 |                        |
| Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> s)                  | 0,02669                |
| Viscosidad cinemática del aire (m <sup>2</sup> /s)          | 1,750x10 <sup>-5</sup> |
| Número de Prandtl para el aire                              | 0,7242                 |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{345,5} = 0,003120$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 1643413870$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 135,80$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,73 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A (T_s - T_{amb})$$

$$Q = 774,20 \text{ W}$$

### 3.3.2.3 Pérdidas de calor por radiación en las paredes del tanque

Tabla 3-12: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en las paredes del tanque.

| DATOS   |          |
|---|----------|
| Área frontal de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )           | 0,502    |
| Emisividad del material (cara frontal) (Anexo B)                  | 0,44     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)                                       | 340      |
| Temperatura ambiente (K)  | 296      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 0,44 * 5,67 \times 10^{-8} * 0,502 * (340^4 - 296^4)$$

$$Q_{rad} = 71,22 W$$

### 3.3.2.4 Pérdidas de calor por radiación en la periferia del tanque

Tabla 3-13: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en las paredes del tanque.

| DATOS   |          |
|---|----------|
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $m^2$ ) | 3,76     |
| Emisividad del material (cara cilíndrica) (Anexo B) | 0,44     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $W/m^2 * K^4$ )     | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)                         | 340      |
| Temperatura ambiente (K)                            | 296      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 0,44 * 5,67 \times 10^{-8} * 3,76 * (340^4 - 296^4)$$

$$Q_{rad} = 533,44 W$$

### 3.3.3 Pérdidas de calor en la chimenea

#### 3.3.3.1 Pérdidas de calor por convección en la chimenea

Tabla 3-14: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la chimenea.

| DATOS   |       |
|---|-------|
| Diámetro exterior la chimenea (m)                   | 0,5   |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $m^2$ ) | 7,068 |
| Longitud de la chimenea (m)                         | 4,5   |
| Temperatura superficial de la placa (K)             | 418   |
| Temperatura ambiente (K)                            | 298   |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}C$ )                | 84    |
| <b>DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C</b>                  |       |

|  |                        |
|--|------------------------|
| Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> s)         | 0,0298                 |
| Viscosidad cinemática del aire (m <sup>2</sup> /s) | 2,138x10 <sup>-5</sup> |
| Número de Prandtl para el aire                     | 0,714                  |

$$Gr = \frac{g \cdot \beta (T_S - T_{amb}) L^3}{\nu^2}$$

$$Gr = 3,07 \times 10^{16}$$

$$D \geq \frac{35L}{Gr^{0,25}}$$

$$0,5 \geq 0,01189$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 643835413$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 5331,615$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 6,286 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A (T_S - T_{amb})$$

$$Q = 5331,61 \text{ W}$$

### 3.3.3.2 Pérdidas de calor por radiación en la chimenea

Tabla 3-15: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la chimenea.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Diámetro exterior la chimenea (m)                                  | 0,5      |
| Área cilíndrica de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )        | 7,068    |
| Longitud de la chimenea (m)  | 4,5      |
| Emisividad del material (cara cilíndrica) (Anexo B)                | 0,6      |
| Constantes de Stefan Boltzman (W/m <sup>2</sup> * k <sup>4</sup> ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 418      |
| Temperatura ambiente (K)   | 298      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 0,6 * 5,67 \times 10^{-8} * 7,492 * (418^4 - 298^4)$$

$$Q_{rad} = 5444,423 \text{ W}$$

### 3.3.3.3 Pérdidas de calor sensible de los humos de chimenea

Para la determinación del porcentaje del de pérdidas de calor sensibles de los humos de chimenea se utilizó la Ecuación 2.10.

$$Q_{ch} = K * \frac{T_h - T_a}{\%CO_2}$$

Según la Tabla 2.1 se determinó el valor de la constante  $K=0,56 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

Mediante el estudio de impacto ambiental para la “construcción, ampliación y remodelación de las instalación es de la actual hospital general de Latacunga” realizado por IDEAMBIENTE en octubre el 2015 se obtuvo el porcentaje de

CO<sub>2</sub> que se genera por la emisión de gases por combustión el cual se detalla en el anexo D:

Datos

$$K = 0,56 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$T_h = 190 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_a = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\%CO_2 = 7\%$$

$$Q_{ch} = 13,2\%$$

Representando para el caldero del “Hospital Regional Latacunga” una pérdida de calor de **102.55 kW**

### 3.3.4 Pérdidas de calor en la red de distribución de vapor

#### 3.3.4.1 Pérdidas de calor por convección en la red de distribución

Para el cálculo de pérdidas de calor en la red de distribución se analizó cada tramo y se obtuvo los datos mostrados en la Tabla 3-17. Para dar una idea del cálculo que se realizó para la obtención de estos resultados se tomó como ejemplo el tramo caldero – distribuidor con los datos que se muestran en la Tabla 3-16.

*Tabla 3-16: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección en la red de distribución; tramo caldera – distribuidor.*

| DATOS   |        |
|---|--------|
| Diámetro exterior la tubería (m)                            | 0,1143 |
| Área cilíndrica de transferencia de calor (m <sup>2</sup> ) | 5,11   |



|  |                        |
|--|------------------------|
| Longitud de la chimenea (m)                        | 14,25                  |
| Temperatura superficial de la placa (K)            | 318                    |
| Temperatura ambiente (K)                           | 296                    |
| Temperatura promedio (°C)                          | 34                     |
| <b>DATOS OBTENIDOS DEL ANEXO C</b>                 |                        |
| Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> s)         | 0,02398                |
| Viscosidad cinemática del aire (m <sup>2</sup> /s) | 1,647x10 <sup>-5</sup> |
| Número de Prandtl para el aire                     | 0,7270                 |

Hallamos el valor de la expansión volumétrica reemplazando la temperatura ambiente en grados K en la Ecuación (2.5):

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{307,15} = 0,2928$$

Para la obtención de número de Rayleigh aplicamos la Ecuación (2.4):

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = \frac{(9,8m/s^2) \cdot (\frac{1}{307,15K})(318,3K - 296K)(0,1143m)^3}{(1,647x10^{-5}m^2/s)^2} \cdot 0,727$$

$$Ra_D = 2850422,61$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

Aplicamos la Ecuación (2.6) para obtener Nusselt y obtenemos:

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot 2850422,61^{1/6}}{[1 + (0,559/0,727)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 19,647$$

Remplazamos los valores de encontrados de Nusselt, conductividad térmica y diámetro en la Ecuación (2.7) y obtenemos:

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = \frac{0,02398W/(m^{\circ}K)}{0,1143} \cdot 19,647$$

$$h = 4,12 W/m^2K$$

Para el cálculo de las pérdidas de calor aplicamos la Ecuación (2.2):

$$Q = h \cdot A(T_s - T_{amb})$$

$$Q = (4,12W/m^2K) * (5,116 m^2) * (318,4 - 296)^{\circ}C$$

$$\mathbf{Q = 470,368 W}$$

Tabla 3-17: Resultado de pérdidas de calor por convección en las líneas de distribución.

| Tramo                       | Diámetro ext. Tubería recubierta (m) | Longitud (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Número Prandt | Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s) | Temperatura media (°C) | Temperatura media (K) | Temperatura ambiente (K) | Nusselt | Rayleigh   | Coefficiente de transferencia de calor W/m <sup>2</sup> °K | Pérdida de calor (W) |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------|------------------------|---------------|---|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|------------|--|----------------------|
| Caldera–Distribuidor        | 0,1143                               | 14,25        | 5,117                  | 0,727         | 0,00001647                                | 34,15                  | 318,3                 | 296                      | 19,648  | 2850422,61 | 4,122  | 470,368              |
| Distribuidor–Esterilización | 0,0635                               | 46,9         | 9,356                  | 0,728         | 1,61E-05                                  | 30,5                   | 312                   | 295                      | 11,262  | 393826,211 | 4,594  | 730,644              |
| Distribuidor – Lavandería   | 0,0635                               | 8,5          | 1,696                  | 0,715         | 2,10E-05                                  | 80,5                   | 401                   | 316                      | 14,458  | 977460,313 | 6,717  | 968,115              |
| Lavandería – Secador 1      | 0,0635                               | 3,4          | 0,678                  | 0,727         | 1,64E-05                                  | 33,5                   | 315                   | 298                      | 11,120  | 376165,366 | 5,185  | 59,789               |
| Secador 1 - Secador 2       | 0,0635                               | 8,22         | 1,640                  | 0,727         | 0,00001655                                | 35                     | 318                   | 298                      | 11,555  | 432801,129 | 4,777  | 156,660              |
| Secador 1- Calantra         | 0,0635                               | 3,8          | 0,758                  | 0,726         | 1,69E-05                                  | 38,5                   | 321                   | 302                      | 11,231  | 390309,634 | 4,687  | 67,505               |
| Secador 1- Lavandería 1     | 0,0635                               | 15,5         | 3,092                  | 0,728         | 0,00001608                                | 30                     | 310                   | 296                      | 10,704  | 326854,28  | 4,363  | 188,854              |
| Lavandería 1- Lavandería 2  | 0,0635                               | 12,4         | 2,474                  | 0,728         | 1,61E-05                                  | 30,5                   | 311                   | 296                      | 10,884  | 347493,715 | 4,439  | 164,720              |
| Distribuidor – Cocina       | 0,0889                               | 52,4         | 14,635                 | 0,726         | 1,68E-05                                  | 37,5                   | 319                   | 302                      | 14,466  | 972423,704 | 4,301  | 1069,94<br>9         |
| <b>TOTAL</b>                |                                      |              |                        |               |   |                        |                       |                          |         |            |  | <b>3876,60</b>       |

### 3.3.4.2 Pérdidas de calor por radiación en la red de distribución

Para el cálculo de pérdidas de calor por radiación sabiendo que la tubería tiene un aislamiento de aluminio brillante que tiene un valor de emisividad de 0,04 y con datos medidos en el sistema se procede al cálculo de la pérdida de calor radiación con la Ecuación (2.9):

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_S \cdot (T_S^4 - T_S^4)$$

Tabla 3-18: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación en la red de distribución.

| Tramo                      | Área (m <sup>2</sup> ) | T. ext promedio (K) | T. ambiente (K) | Constante de Boltzman (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | ε    | Pérdidas de calor (W) |
|----------------------------|------------------------|---------------------|-----------------|--|------|-----------------------|
| Caldera–Distribuidor       | 5,117                  | 318,3               | 296             | 5,67E-08   | 0,04 | 30,036                |
| Distribuido-Esterilización | 9,356                  | 312                 | 295             | 5,67E-08   | 0,04 | 40,3700               |
| Distribuidor Lavandería    | 1,696                  | 401                 | 316             | 5,67E-08   | 0,04 | 61,104                |
| Lavandería – Secador 1     | 0,678                  | 315                 | 298             | 5,67E-08   | 0,04 | 3,0130                |
| Secador 1 - Secador 2      | 1,64                   | 318                 | 298             | 5,67E-08   | 0,04 | 8,703                 |
| Secador 1- Calantra        | 0,758                  | 321                 | 302             | 5,67E-08   | 0,04 | 3,952                 |
| Secador 1- Lavandería 1    | 3,092                  | 310                 | 296             | 5,67E-08   | 0,04 | 10,930                |
| Lavandería 1 Lavandería 2  | 2,474                  | 311                 | 296             | 5,67E-08   | 0,04 | 9,417                 |
| Distribuidor – Cocina      | 14,635                 | 319                 | 302             | 5,67E-08   | 0,04 | 67,616                |
| <b>TOTAL</b>               |                        |                     |                 |  |      | <b>235,145</b>        |

### 3.3.5 Pérdidas de calor en la red de retorno de condensado

#### 3.3.5.1 Pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador

Tabla 3-19: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador.

| DATOS   |                        |
|---|------------------------|
| Diámetro exterior la tubería (m)                            | 0,06                   |
| Área cilíndrica de transferencia de calor (m <sup>2</sup> ) | 20,34                  |
| Longitud de la chimenea (m)                                 | 102                    |
| Temperatura superficial de la placa (K)                     | 311                    |
| Temperatura ambiente (K)                                    | 298                    |
| Temperatura promedio (°C)                                   | 31,5                   |
| Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> s)                  | 0,07277                |
| Viscosidad cinemática del aire (m <sup>2</sup> /s)          | 1,622x10 <sup>-5</sup> |
| Número de Prandtl para el aire                              | 0,7270                 |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{307,15} = 0,003288$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 296617,598$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 11,9280457$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A (T_S - T_{amb})$$

$$Q = 1290,910 \text{ W}$$

### 3.3.5.2 Pérdidas de calor por convección cocina – tanque de condensado

Tabla 3-20: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador.

| DATOS  |                        |
|--|------------------------|
| Diámetro exterior la tubería (m)                           | 0,0889                 |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ ) | 13,96                  |
| Longitud de la chimenea (m)                                | 50                     |
| Temperatura superficial (K)                                | 313                    |
| Temperatura ambiente (K)                                   | 298                    |
| Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )                | 32,5                   |
| Conductividad térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{s}$ )    | 0,02606                |
| Viscosidad cinemática del aire ( $\text{m}^2/\text{s}$ )   | $1,631 \times 10^{-5}$ |
| Número de Prandtl para el aire                             | 0,7275                 |

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{307,15} = 0,003273$$

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta (T_{sup} - T_{amb}) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_D = 924939,1796$$

$$Ra_D \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 16,01799625$$

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

$$h = 4,69 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

$$Q = h \cdot A (T_s - T_{amb})$$

$$Q = 983,23 \text{ W}$$

### 3.3.5.3 Pérdidas de calor por convección lavandería – esterilizador

Tabla 3-21: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación lavandería – esterilizador.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Diámetro exterior la tubería (m)                                     | 0,0635   |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )           | 20,34    |
| Emisividad del material (cara cilíndrica) (Anexo B)                  | 0,04     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 311      |
| Temperatura ambiente (K)   | 298      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 0,6 * 5,67x10^{-8} * 7,492 * (418^4 - 298^4)$$

$$Q_{rad} = 67,75 \text{ W}$$

### 3.3.5.4 Pérdidas de calor por convección cocina – tanque de condensado

Tabla 3-22: Datos para el cálculo de pérdidas de calor por radiación cocina – tanque de condensado.

| DATOS  |          |
|--|----------|
| Diámetro exterior la tubería (m)                                     | 0,0889   |
| Área cilíndrica de transferencia de calor ( $\text{m}^2$ )           | 13,96    |
| Emisividad del material (cara cilíndrica) (Anexo B)                  | 0,04     |
| Constantes de Stefan Boltzman ( $\text{W}/\text{m}^2 * \text{k}^4$ ) | 5,67E-08 |
| Temperatura superficial (K)  | 313      |
| Temperatura ambiente (K)   | 298      |

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_{alrede}^4)$$

$$Q_{rad} = 0,6 * 5,67x10^{-8} * 7,492 * (418^4 - 298^4)$$

$$Q_{rad} = 54,19 \text{ W}$$

### 3.3.6 Pérdidas de calor del sistema

Tabla 3-23: Resultados de pérdidas de calor del sistema.

| RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE CALOR DEL SISTEMA     |                 |
|---|-----------------|
| Pérdida de calor en la caldera (W)              | 3476,557        |
| Pérdida de calor en el tanque de condensado (W) | 1580,4          |
| Pérdida de calor en la chimenea (W)             | 113326,033      |
| Pérdida de calor en la red de distribución (W)  | 4111,749        |
| Pérdida de calor en la red de condensado (W)    | 2396,08         |
| <b>TOTAL (kW)</b>                               | <b>124,8908</b> |

Para el cálculo de la eficiencia del sistema distribución se utilizó el método directo para la determinación de la eficacia dado por la Ecuación:

Aplicando la Ecuación 2-12 podemos obtener la eficiencia del sistema:

Datos:

$$\eta = \frac{E_{entrada} - E_{pérdida}}{E_{entrada}}$$

$$E_{entrada} = \frac{E_{ent\ placa} * \eta_{caldera}}{100\%}$$

$$E_{entrada} = \frac{981 \text{ kW} * 79,2\%}{100\%} = 776,95 \text{ kW}$$



$$E_{p\acute{e}rdida} = 124,8908$$

Donde remplazando los valores se obtiene la eficiencia del sistema.

$$\eta = 84\%$$

### 3.4 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE VAPOR EN LAS AREAS DE LAVANDERÍA Y ESTERILIZACIÓN

Debido al mal estado de las placas de información de los equipos médicos que utilizan vapor se hizo imposible estimar el consumo de vapor de las áreas de esterilización y lavandería utilizando este medio por lo que para determinar el consumo de vapor de dichas áreas se utilizó pautas del Instituto Mexicano de Seguridad Social IMSS [18] y la Guía de diseño hospitalario de América latina [19] las cuales compilan una amplia gama de ingenierías especializadas en hospitales, basándose en normas ASRHRE, ASME, NFPA, y otras utilizadas a nivel nacional e internacional.

El “Hospital General de Latacunga” cuenta con 202 camas pero solo se encuentran en operación 162. Para este proyecto se utilizó como referencia la “Guía de diseño hospitalario de América latina” [19] en la cual existen datos de consumo de vapor para hospitales con 100 y 200 camas como se muestra en la Tabla 3-24

Tabla 3-24: Consumo de vapor según el número de camas [18].

| NÚMERO DE CAMAS | HOSPITAL DE 100 CAMAS   | HOSPITAL DE 200 CAMAS   |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| ÁREA            | CONSUMO DE VAPOR (lb/h) | CONSUMO DE VAPOR (lb/h) |
| LAVANDERÍA      | 800                     | 1500                    |
| ESTERILIZACIÓN  | 500                     | 700                     |

Para el “Hospital General de Latacunga” que cuenta con 162 camas en operación se obtienen los siguientes valores mostrados en la Tabla 3-25 del consumo de vapor:

Tabla 3-25: Consumo de vapor según la guía de diseño hospitalario de América latina [19].

| NÚMERO DE CAMAS | HOSPITAL DE 162 CAMAS   |
|-----------------|-------------------------|
| ÁREA            | CONSUMO DE VAPOR (lb/h) |
| LAVANDERÍA      | 1234                    |
| ESTERILIZACIÓN  | 624                     |
| <b>TOTAL</b>    | <b>1858</b>             |

Para comprobar que los valores mostrados en la Tabla 3-25 se realizara una comparación de la “Guía de diseño hospitalario” [19] y la norma del “Instituto Mexicano de Seguridad Social IMSS” [18]. En el capítulo siete de la norma del IMSS utiliza la capacidad de los equipos para diversas operaciones que se realizan en las áreas analizadas para determinar el consumo de vapor.

Utilizando los datos que se encuentran en la Tabla del Anexo E de la norma se obtiene los valores mostrados en la Tabla 3-26 de consumo de vapor en el área de lavandería:

Tabla 3-26: Consumo de vapor en lavandería para el Hospital de Latacunga [19].

| LAVANDERÍA           |                         |                         |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| OPERACIONES          | CONSUMO DE VAPOR        |                         |
|                      | CONSUMO DE VAPOR (kg/h) | CONSUMO DE VAPOR (lb/h) |
| LAVADO               | 250,79                  | 552,89                  |
| SECADO               | 109,78                  | 242,02                  |
| PLANCHADO PLANO      | 185,315                 | 408,54                  |
| PLANCHADO FORMA      | 76,933                  | 169,60                  |
| <b>CONSUMO TOTAL</b> | <b>622,818</b>          | <b>1373,05</b>          |

Para el área de esterilización se tomó como referencia la Tabla A-21 del ANEXO F del IMSS el cual determina el consumo de vapor de acuerdo a las dimensiones nominales de la cámara. Teniendo para el “Hospital General de Latacunga” un autoclave de 24x36x60 plg. Marca AMSCO modelo MV un consumo de vapor de 216 kg/h.

Para el “Hospital General de Latacunga” que cuenta con 162 camas en operación según la norma del IMSS se obtiene para las áreas de esterilización y lavandería los resultados mostrados en la Tabla 3-27 en consumo de vapor

Tabla 3-27: Consumo de vapor según el Instituto Mexicano de Seguridad Social.

| <b>NÚMERO DE CAMAS</b> | <b>HOSPITAL DE 162 CAMAS</b>   |
|------------------------|--------------------------------|
| <b>ÁREA</b>            | <b>CONSUMO DE VAPOR (lb/h)</b> |
| LAVANDERÍA             | 1373,05                        |
| ESTERILIZACIÓN         | 476,19                         |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1849,24</b>                 |

Comparando los valores obtenidos de consumos de vapor en las áreas de lavandería y esterilización de la “Guía de Diseño Hospitalario” y la norma del “Instituto Mexicano de Seguridad Social” obtenemos el cuadro comparativo que se muestra en la Tabla 3-28.

Tabla 3-28: Cuadro comparativo de consumo bajo normas.

| <b>OPERACIONES</b>   | <b>CONSUMO DE VAPOR</b>            |   |                   |
|----------------------|------------------------------------|---|-------------------|
|                      | <b>GUÍA DE DISEÑO HOSPITALARIO</b> | <b>INSTITUTO MEXICANO DE SEGURIDAD SOCIAL</b> | <b>Diferencia</b> |
| <b>ÁREA</b>          | <b>CONSUMO DE VAPOR (lb/h)</b>     | <b>CONSUMO DE VAPOR (lb/h)</b>                |                   |
| LAVANDERÍA           | 1234                               | 1373  | 10%               |
| ESTERILIZACIÓN       | 624                                | 476   | 24%               |
| <b>CONSUMO TOTAL</b> | <b>1858</b>                        | <b>1849</b>                                   | <b>0,5%</b>       |

La variación entre las normas es menor al 1% siendo 9 lb/h la variación de consumo de vapor entre ambas, pudiendo determinar mediante este resultado que el consumo de vapor de las áreas de esterilización y lavandería es de 1854 lb/h.

### **3.5 ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y GENERACIÓN**

Una vez estudiado el sistema de generación y distribución de vapor del “Hospital General de Latacunga” se analizó las posibles alternativas de mejoramiento las cuales son:

- Reemplazo de trampas de vapor averiadas
- Instalación de un sistema de recuperación de vapor “flash”
- Cambio del material aislante en diferentes zonas de la tubería de distribución

Las mejoras anteriormente mencionadas se las detallan a continuación.

#### **3.5.1 Instalación del sistema de recuperación de vapor “flash”**

En todas las líneas y equipos que requieren energía de vapor para su funcionamiento hay condensación debido al gradiente térmico existente en su superficie exterior que está a temperatura ambiente con o sin aislamiento. Mediante la instalación del sistema de recuperación de condensado se intenta recuperar no solo la masa del agua tratada sino también la energía térmica contenida en ella.

Para la selección del tanque flash que es donde llega el condensado a condiciones de saturación y se expande a la presión deseada se utilizó el diagrama de tasa de purga y presión de una caldera de Spirax Sarco, el cual requiere del caudal de purga para su utilización.

El caudal de purga se determina mediante la Ecuación 3-1:

$$P = \frac{F \times S}{B - S}$$

Dónde:

F=TDS agua de alimentación (ppm)

B= TDS deseado por la caldera (ppm)

S= Producción de vapor de la caldera (kg/h)

P= Caudal de purga

Entonces

$$P = \frac{1000 \text{ ppm} \times 3450 \text{ lb/h}}{(3500 - 500) \text{ ppm}} = 1150 \text{ lb/h}$$

$$P = 521,63 \text{ Kg/h}$$

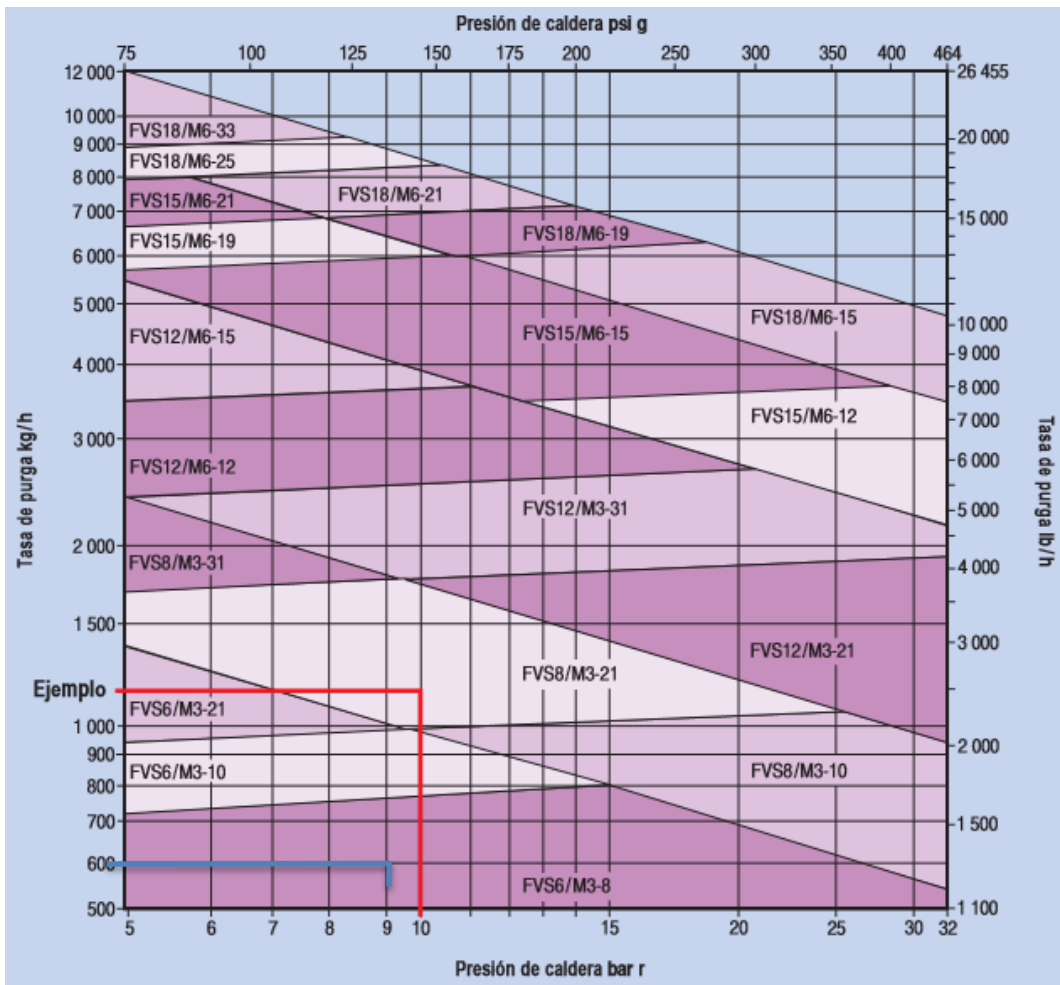


Figura 3- 14: Selección del tanque de vaporizado del sistema de recuperación de vapor [17].

Con este caudal y la presión de trabajo de la caldera que es de 135 psi se selecciona un tanque FVS6/M310 la cual se da por la intersección de estos datos como se observa en la Figura 3-14.

La Figura 3-15 se muestra un diseño general de un sistema de recuperación de vapor flash con sus respectivos accesorios.

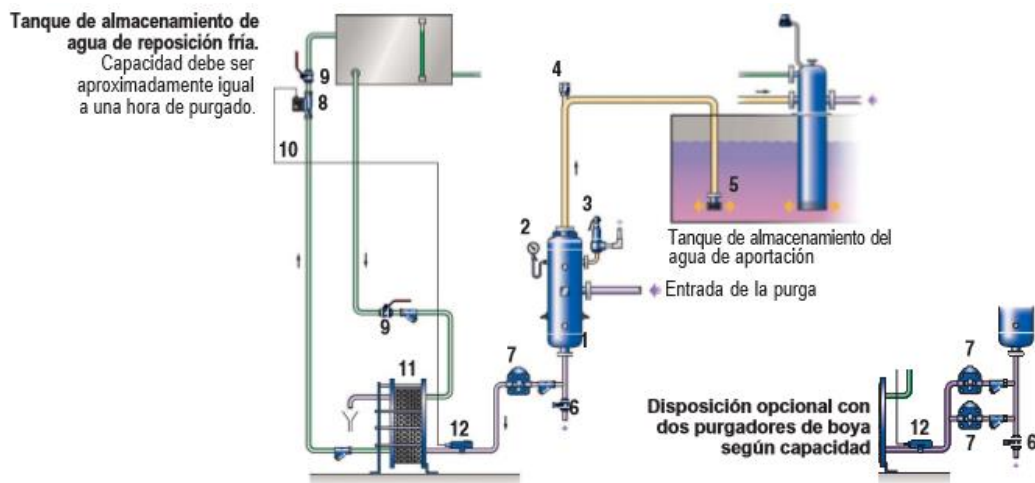


Figura 3- 15: Diseño general de un sistema de recuperación de vapor “flash” [17].

Los accesorios para el sistema de recuperación como manómetros, válvulas de seguridad, rompedor de vacío, distribuidor de vapor, válvulas de esfera, purgadores y filtros serán seleccionados bajo las dimensiones del tanque previamente seleccionado como se puede observar en la Figura 3-16.

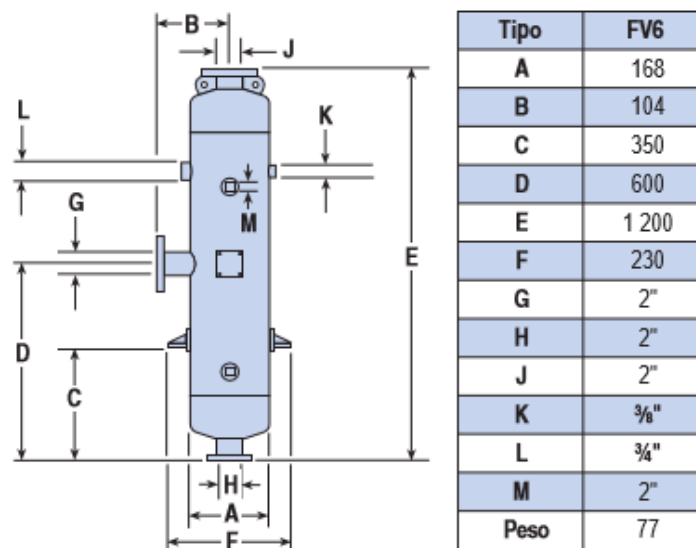


Figura 3- 16: Dimensiones del tanque de vaporizado FV6/M310 “flash” [17].

### 3.5.2 Reemplazo de trampas de vapor averiadas

En la red de distribución de vapor del “Hospital General de Latacunga” el funcionamiento inadecuado de las trampas de vapor puede representar el 4% según estudios realizados; del total de pérdidas del sistema. El funcionamiento adecuado de las trampas de vapor es fundamental para una buena eficiencia del sistema y ahorro de combustible, para determinar si están en funcionamiento se utilizó la Tabla “SDT Latino América” la cual es una guía general para un posterior diagnóstico detallado de características de trampas de vapor mostrada en la Tabla 3-29.

Tabla 3-29: Características de la trampa de vapor [16].

| TIPO DE TRAMPA         | COMO OPERA   | QUE SONIDO DEBE ESCUCHAR SI FALLA |                                      |
|------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                        |              | ABIERTA                           | CERRADA                              |
| Balde Invertido        | Intermitente | Silbido de vapor pasando          | No hay sonido del condensado drenado |
| Flotador & Termostato  | Continuo     |                                   |                                      |
| Termodinámico de disco | Intermitente |                                   |                                      |
| Bimetálicas            | Intermitente |                                   |                                      |

Las trampas de vapor instaladas tanto en la red de distribución como a la entrada de los equipos médicos son las mostradas en la Tabla 3-30:

Tabla 3-30: Trampas de vapor en los equipos del hospital [16].

| CANTIDAD                     | TIPO DE TRAMPA  | DIÁMETRO | CANTIDAD AVERIADA |
|------------------------------|-----------------|----------|-------------------|
| <b>LAVANDERÍA</b>            |                 |          |                   |
| 2                            | BALDE INVERTIDO | 3/4"     | 1                 |
| 3                            | BALDE INVERTIDO | 3/4"     | 2                 |
| 2                            | TERMODINÁMICA   | 3/4"     | 2                 |
| 1                            | TERMODINÁMICA   | 3/4"     | 0                 |
| <b>ESTERILIZACIÓN</b>        |                 |          |                   |
| 2                            | BALDE INVERTIDO | 3/4"     | 1                 |
| <b>LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN</b> |                 |          |                   |

|               |                    |        |   |
|---------------|--------------------|--------|---|
| 2             | BALDE<br>INVERTIDO | 2 1/2" | 2 |
| 1             | TERMODINÁMICA      | 2 1/2" | 1 |
| <b>COCINA</b> |                    |        |   |
| 3             | TERMOESTATICO      | 3/4"   | 1 |
| 2             | TERMODINÁMICA      | 3/4"   | 1 |

Haciendo un el estudio correspondiente con la ayuda del estetoscopio a cada una de las trampas se determinó que de las 18 trampas de vapor instalas en el área de esterilización, lavandería, cocina y líneas de distribución 11 de ellas están averiadas y según la Tabla de selección de purgadores de Spirax Sarco mostrada en la Tabla 3-31 la selección de estas trampas no es la mejor opción.

*Tabla 3-31: Recomendaciones de trampas de vapor [16].*

| <b>SELECCIÓN DE TRAMPA DE VAPOR</b> |                                      |   |                                    |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| <b>ÁREA</b>                         | <b>EQUIPOS</b>                       | <b>MEJOR OPCIÓN</b>                         | <b>ALTERNATIVA ACEPTABLE</b>       |
| COCINA                              | Marmitas                             | Flotador o balde invertido                  | Balde invertido                    |
| ESTERILIZACIÓN                      | Autoclaves                           | Termostática de presión balanceada          | Flotador y termostato              |
| LAVANDERÍA                          | Prensas                              | Termodinámica                               | Flotador y termostato              |
|                                     | Planchadora y Calandrias             | Flotador y termostato con descarga de vapor | Flotador y termostato              |
| LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN              | Zona de bancos reductores de presión | Flotador y termostato                       | Termostática de presión balanceada |
|                                     | Tramos horizontales                  | Termodinámica                               | Balde invertido                    |
|                                     | Drenaje de tubería principal         | Flotador y termostato                       | Balde invertido                    |
|                                     | Extremos finales                     | Termodinámica                               | Flotador y termostato              |

Por lo que una alternativa a plantear para reducir las pérdidas de calor del sistema de generación y distribución es cambiar las trampas de vapor averiadas y seleccionar trampas de vapor adecuadas para el equipo que las utiliza mediante la Tabla 3-31.

Para la selección del tamaño de orificio de descarga de la trampa de vapor de balde estándar para uso general en presiones hasta de 17 bar y temperaturas hasta de 232°C



se tomó en cuenta la presión y capacidad de descarga de acuerdo al catálogo ARMSTRONG Tabla 3-32.

Tabla 3-32: Parámetros de diseño para trampas de vapor de balde invertido [20].

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
|                               | Hierro fundido         |
| Conexiones (pulgadas)<br>(mm) | 1/2" a 2 1/2"<br>15-65 |
| Tipos de conexión             | Roscada                |
| Presión de operación bar      | 0 a 17                 |
| Capacidad (kg/hr)             | Hasta 9,091            |

Para trampas de vapor de conexiones de 1/2 a 2 1/2 plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de 11/32 plg como se muestra en la Figura 3-18, con una presión de 17 bar y 9,091 de kg/hr.

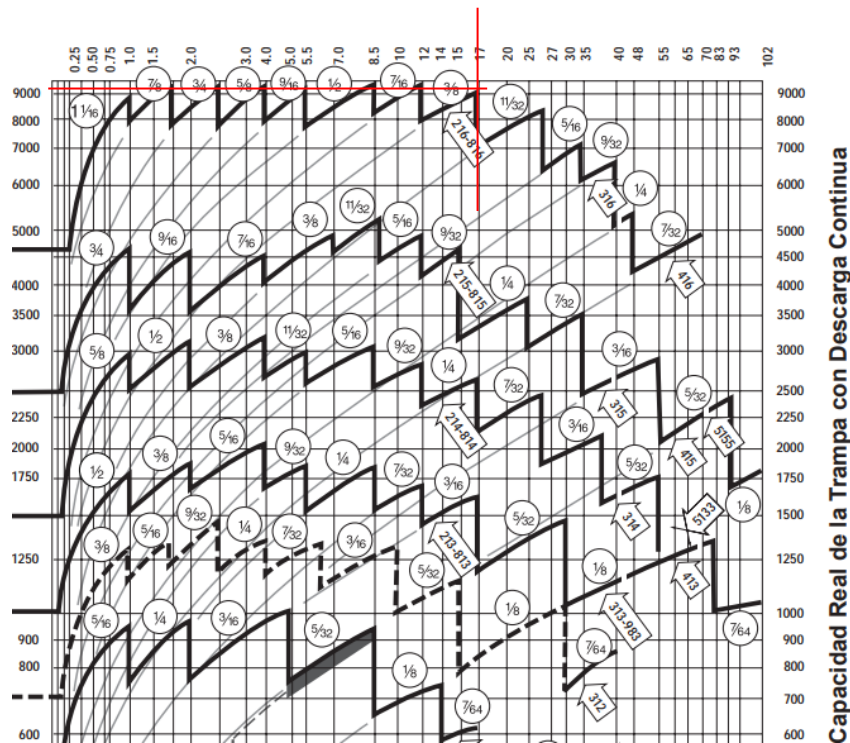


Figura 3- 17: Parámetros de diseño para trampas de vapor de balde [20].

Para la selección del tamaño de orificio de descarga de la trampa de vapor de Flotador y Termostáticas se tomó en cuenta la presión y capacidad de descarga de acuerdo al catálogo ARMSTRONG Tabla 3-33.

Tabla 3-33: Parámetros de diseño para trampas de vapor de Flotador y Termostáticas [20].

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
|                               | Hierro fundido     |
| Conexiones (pulgadas)<br>(mm) | 1/2" a 3"<br>15-65 |
| Tipos de conexión             | Roscada o bridas   |
| Presión de operación (bar)    | 0 a 17             |
| Capacidad (kg/hr)             | Hasta 94,545       |

Para trampas de vapor de conexiones de 1/2 a 3 plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de 1 7/8 plg como se muestra en la Figura 3-20, con una presión de 17 bar y 94,545 de kg/hr.

| Capacidades                                     |   |       |       |         |  |                   |                     |                     |   |                         |               |                     |                             |
|---|---|-------|-------|---------|--|-------------------|---------------------|---------------------|---|-------------------------|---------------|---------------------|-----------------------------|
| Tabla 28-1. Trampas Series J, K, L, M, LS, y MS |   |       |       |         |  |                   |                     |                     |   |                         |               |                     |                             |
| Números de Modelo                               | Un Orificio   |       |       |         |  |                   |                     |                     |   |                         | Dos Orificios |                     |                             |
|   | 15-J8   | 30-J8 | 75-J8 | 125-J8  | 175-J8   | 30-LS10<br>30-L10 | 100-LS10<br>100-L10 | 150-LS10<br>150-L10 | 250-LS10<br>250-L10                                   | 450-LS-LD*<br>450-LS-CC | 50-K10        | 250-MS12<br>250-M12 | 450-MS12-LD*<br>450-MS12-CC |
| Conexiones a Tanque                             | 50  | 50    | 50    | 50      | 50   | 65                | 65                  | 65                  | 65  | 65                      | 65            | 80                  | 80                          |
| Tamaño del Orificio                             | 1 1/8   | 3/4   | 9/8   | 1 1/2   | 7/8  | 1 1/8             | 1 1/8               | 7/8                 | 1 1/8   | 1 1/2                   | 1 1/8         | 1 1/8               | 1 1/8                       |
| 0.02  | 2 539   | 1 061 | 995   | 964     | 900  | 5 305             | 2 716               | 2 345               | 1 943   | 1 255                   | 10 909        | 11 227              | 6 750                       |
| 0.03  | 3 591   | 1 773 | 1 409 | 1 364   | 1 273  | 7 500             | 3 841               | 3 318               | 2 750   | 1 773                   | 13 636        | 15 909              | 9 545                       |
| 0.14  | 5 682   | 3 182 | 2 227 | 1 864   | 1 636  | 11 818            | 6 591               | 5 682               | 4 773   | 2 455                   | 19 091        | 26 364              | 15 909                      |
| 0.35  | 7 727   | 4 955 | 2 682 | 2 091   | 1 909  | 15 455            | 9 318               | 7 727               | 6 364   | 3 273                   | 25 000        | 32 273              | 19 091                      |
| 0.70  | 9 818   | 6 409 | 4 545 | 3 227   | 2 727  | 18 409            | 11 364              | 9 091               | 7 955   | 4 091                   | 30 455        | 37 273              | 22 727                      |
| 1.00  | 11 364  | 7 273 | 5 182 | 4 182   | 3 227  | 19 773            | 12 727              | 10 000              | 8 636   | 5 000                   | 33 636        | 40 455              | 26 364                      |
| 1.40  | —   | 8 364 | 5 455 | 4 773   | 3 545  | 21 136            | 14 318              | 10 909              | 9 091   | 5 682                   | 35 909        | 43 636              | 29 545                      |
| 2.00  | —   | 9 091 | 6 227 | 5 273   | 4 318  | 21 818            | 15 909              | 12 500              | 9 773   | 6 364                   | 40 455        | 47 727              | 32 727                      |
| 3.00  | —   | —     | 6 818 | 5 545   | 4 682  | —                 | 17 500              | 13 864              | 10 455  | 6 818                   | 43 182        | 52 727              | 35 909                      |
| 3.50  | —   | —     | 7 500 | 5 955   | 4 909  | —                 | 18 455              | 15 227              | 10 909  | 7 500                   | 47 727        | 54 091              | 39 545                      |
| 5.00  | —   | —     | 8 955 | 7 227   | 5 455  | —                 | 20 909              | 17 727              | 12 273  | 9 091                   | —             | 60 455              | 45 000                      |
| 7.00  | —   | —     | —     | 8 318   | 6 364  | —                 | 22 727              | 20 000              | 14 318  | 10 455                  | —             | 65 909              | 50 000                      |
| 8.50  | —   | —     | —     | 8 864   | 7 045  | —                 | —                   | 22 273              | 15 455  | 11 591                  | —             | 71 364              | 55 455                      |
| 10.50   | —   | —     | —     | —       | 7 727  | —                 | —                   | 23 636              | 16 818  | 12 273                  | —             | 76 364              | 61 364                      |
| 12.00   | —   | —     | —     | —       | 8 182  | —                 | —                   | —                   | 18 182  | 12 955                  | —             | 81 364              | 67 273                      |
| 14.00   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | 19 773  | 13 636                  | —             | 86 364              | 72 727                      |
| 17.00   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | 22 727  | 15 000                  | —             | 94 545              | 84 091                      |
| 20.50   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | —   | —                       | 15 909        | —                   | 95 455                      |
| 24.00   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | —   | 16 818                  | —             | —                   | 106 818                     |
| 27.50   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | —   | 17 500                  | —             | —                   | 118 182                     |
| 31.00   | —   | —     | —     | —       | —  | —                 | —                   | —                   | —   | 18 182                  | —             | —                   | 127 273                     |
| Presión Máxima Permitida<br>(Diseño de Tanque)  | Serie J = 12 bar @ 232°C<br>Serie LS = 31 bar @ 343°C |       |       |         | Serie K = 12 bar @ 232°C<br>Serie M = 17 bar @ 232°C |                   |                     |                     | Serie L = 17 bar @ 232°C<br>Serie MS = 31 bar @ 343°C |                         |               |                     |                             |
| Máxima Presión de Operación<br>(vapor saturado) | 1 bar   | 2 bar | 5 bar | 8.5 bar | 12 bar   | 2 bar             | 7 bar               | 10.5 bar            | 17 bar  | 31 bar                  | 3.5 bar       | 17 bar              | 31 bar                      |

Figura 3- 18: Tabla para selección del diámetro del orificio para trampas de vapor de Flotador y Termostáticas [20].

Para la selección del tamaño de orificio de descarga de la trampa de vapor termostáticas se tomó en cuenta la presión y capacidad de descarga de acuerdo al catálogo ARMSTRONG Tabla 3.34.

Tabla 3-34: Parámetros de diseño para trampas de vapor termostáticas [20]

| Fuente de presión balanceada  |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| Material de cuerpo y tapa     | Bronce              |
| Conexiones (pulgadas)<br>(mm) | 1/2" a 3"<br>15-65  |
| Tipos de conexión             | NPT recta en ángulo |
| Presión de operación (bar)    | 0 a 3.5             |
| Capacidad (kg/hr)             | Hasta 726           |

Para trampas de vapor de conexiones de 1/2 a 3/4 plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de 11/64 plg como se muestra en la Figura 3-22, con una presión de 3.5 bar y 726 de kg/hr de descarga.

| Presión Máxima            | 2 bar   |                                      |       |       |       | 5 bar   |                                      |       |       |       | 8.5 bar  |  |        |        |        | 12 bar   |  |        |        |        |       |
|---------------------------|---------|--------------------------------------|-------|-------|-------|---------|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------|--|--------|--------|--------|----------|--|--------|--------|--------|-------|
|                           | 15      | 20, 25                               | 32    | 40    | 50    | 15      | 20, 25                               | 32    | 40    | 50    | 15       | 20, 25                                   | 32     | 40     | 50     | 15       | 20, 25                                   | 32     | 40     | 50     |       |
| Conexiones a Tubería      | 30-AI-2 | 30-A3<br>30-AI-3<br>30-A4<br>30-AI-4 | 30-A5 | 30-A6 | 30-A8 | 75-AI-2 | 75-A3<br>75-AI-3<br>75-A4<br>75-AI-4 | 75-A5 | 75-A6 | 75-A8 | 125-AI-2 | 125-A3<br>125-AI-3<br>125-A4<br>125-AI-4 | 125-A5 | 125-A6 | 125-A8 | 175-AI-2 | 175-A3<br>175-AI-3<br>175-A4<br>175-AI-4 | 175-A5 | 175-A6 | 175-A8 |       |
| Tamaño del Orificio       | 1/4     | 1/4                                  | 5/16  | 3/8   | 9/16  | 11/64   | 11/64                                | 7/32  | 9/64  | 3/8   | 1/2      | 1/2                                      | 11/64  | 7/32   | 5/16   | 7/64     | 7/64                                     | 5/32   | 11/64  | 11/64  |       |
| Presión Diferencial (bar) | 0.02    | 193                                  | 193   | 289   | 377   | 1 023   | 114                                  | 114   | 168   | 227   | 455      | 68                                       | 68     | 114    | 168    | 318      | 23                                       | 23     | 77     | 114    | 159   |
|                           | 0.03    | 273                                  | 273   | 409   | 534   | 1 455   | 159                                  | 159   | 227   | 261   | 568      | 80                                       | 80     | 159    | 227    | 409      | 30                                       | 30     | 114    | 148    | 227   |
|                           | 0.07    | 341                                  | 341   | 500   | 727   | 1 636   | 182                                  | 182   | 273   | 318   | 795      | 102                                      | 102    | 182    | 273    | 500      | 36                                       | 36     | 136    | 182    | 273   |
|                           | 0.14    | 409                                  | 409   | 557   | 852   | 1 864   | 227                                  | 227   | 341   | 455   | 909      | 136                                      | 136    | 227    | 341    | 636      | 45                                       | 45     | 159    | 227    | 318   |
|                           | 0.35    | 568                                  | 568   | 700   | 1 045 | 2 227   | 291                                  | 291   | 432   | 636   | 1 273    | 182                                      | 182    | 318    | 455    | 909      | 68                                       | 68     | 239    | 364    | 545   |
|                           | 0.70    | 685                                  | 685   | 864   | 1 273 | 2 682   | 375                                  | 375   | 545   | 818   | 1 636    | 239                                      | 239    | 409    | 636    | 1 227    | 127                                      | 127    | 284    | 500    | 955   |
|                           | 1.40    | 864                                  | 864   | 1 082 | 1 614 | 3 364   | 500                                  | 500   | 682   | 1 105 | 2 091    | 318                                      | 318    | 523    | 773    | 1 591    | 200                                      | 200    | 364    | 625    | 1 250 |
|                           | 2.00    | 1 000                                | 1 000 | 1 259 | 1 841 | 3 909   | 591                                  | 591   | 795   | 1 309 | 2 432    | 352                                      | 352    | 614    | 909    | 1 909    | 250                                      | 250    | 409    | 716    | 1 455 |
|                           | 3.00    | —                                    | —     | —     | —     | —       | 664                                  | 664   | 891   | 1 477 | 2 727    | 386                                      | 386    | 668    | 1 009  | 2 068    | 295                                      | 295    | 455    | 791    | 1 636 |
|                           | 3.50    | —                                    | —     | —     | —     | —       | 727                                  | 727   | 966   | 1 614 | 3 000    | 432                                      | 432    | 750    | 1 159  | 2 364    | 341                                      | 341    | 511    | 852    | 1 795 |
|                           | 4.00    | —                                    | —     | —     | —     | —       | 784                                  | 784   | 1 045 | 1 736 | 3 227    | 455                                      | 455    | 809    | 1 255  | 2 545    | 375                                      | 375    | 545    | 909    | 1 955 |
|                           | 5.00    | —                                    | —     | —     | —     | —       | 850                                  | 850   | 1 136 | 1 909 | 3 477    | 491                                      | 491    | 886    | 1 386  | 2 818    | 409                                      | 409    | 614    | 1 000  | 2 159 |
|                           | 7.00    | —                                    | —     | —     | —     | —       | —                                    | —     | —     | —     | —        | 541                                      | 541    | 1 000  | 1 568  | 3 227    | 455                                      | 455    | 693    | 1 125  | 2 477 |
| 8.50                      | —       | —                                    | —     | —     | —     | —       | —                                    | —     | —     | —     | 580      | 580                                      | 1 082  | 1 727  | 3 636  | 486      | 486                                      | 773    | 1 239  | 2 773  |       |
| 10.50                     | —       | —                                    | —     | —     | —     | —       | —                                    | —     | —     | —     | —        | —  | —      | —      | —      | 505      | 505                                      | 841    | 1 341  | 3 055  |       |
| 12.00                     | —       | —                                    | —     | —     | —     | —       | —                                    | —     | —     | —     | —        | —  | —      | —      | —      | 523      | 523                                      | 909    | 1 455  | 3 318  |       |

Figura 3- 19: Tablas para selección del diámetro de orificio de descarga de trampas de vapor termostáticas de fuente de presión balanceada [20].

### 3.5.2.1 Instalación de un sistema de retorno de condensado adquirido

En base a los datos obtenidos de las trampas de vapor ya instaladas en la entrada de los equipos se obtuvo los valores de purga por equipo con un promedio de 2 litros por máquina en cada jornada de trabajo; datos dados por el ingeniero de mantenimiento del hospital. Es decir que en una jornada de trabajo se generan aproximadamente 22 lt de agua tratada liberada hacia el medio ambiente, por lo que se vio la necesidad de implementar un sistema de retorno de condensado de las purgas de cada equipo. Sabiendo el volumen el agua a almacenar se puede seleccionar un sistema de retorno de condensado mediante la utilización de catálogos como se puede observar en la Figura 3-23.

| No.  | ITEM                              | UNITS | FEEDWATER RETURN SYSTEM |         |         |         |            |            |           |          |
|------|-----------------------------------|-------|-------------------------|---------|---------|---------|------------|------------|-----------|----------|
|      |                                   |       | R1                      | R2-3    | R4      | R5-6    | R7         | R8         | R9        | R10      |
|      | FEEDTANK MODEL                    |       | 3HP                     | 16HP    | 25HP    | 50HP    | 70HP       | 100HP      | 150HP     | 300HP    |
|      | BOILER SIZE, MAXIMUM              | HP    |                         |         |         |         |            |            |           |          |
|      | TANK MODEL                        |       | ORR1020                 | ORR1036 | ORR1336 | WRH3036 | WRH3648    | WRH3660    | WRH4260   | WRH4896  |
| 1WA  | Width                             | In.   | 10                      | 10      | 13      | 30      | 36         | 36         | 42        | 48       |
| 1WB  | Width Overall                     | In.   | 10                      | 10      | 13      | 32      | 38         | 38         | 44        | 50       |
| 2LA  | Length                            | In.   | 20                      | 36      | 36      | 36      | 48         | 60         | 60        | 96       |
| 2LB  | Length Overall                    | In.   | 28                      | 36      | 36      | 38      | 53         | 65         | 65        | 101      |
| 3HA  | Height                            | In.   | 35                      | 42      | 46      | 58      | 63         | 63         | 69        | 72       |
| 3HB  | Height Overall                    | In.   | 38                      | 45      | 49      | 62      | 67         | 67         | 73        | 76       |
| 3HD  | Depth                             | In.   | 12                      | 18      | 24      |         |            |            |           |          |
| 10C  | Discharge Check Valve             | In.   | 1/2                     | 3/4     | 3/4     | 1       | (2) 1      | (2) 1      | (2) 1-1/4 |          |
| 20   | Suction Stop Valve & Strainer     | In.   | 1                       | 1       | 1       | 1-1/4*  | (2) 1-1/4* | (2) 1-1/4* | (2) 1-1/2 |          |
| 20D  | Tank Pump Connection              | In.   | 1                       | 1       | 1       | 2       | (2) 2      | (2) 2      | (2) 2     | (4) 2    |
| 22WG | Water Gauge Glass (1/2" Fixtures) | In.   | NF                      | NF      | NF      | NF      | 5/8 x 24   | 5/8 x 24   | 5/8 x 24  | 5/8 x 30 |
| 23   | Condensate Return                 | In.   | 3/4                     | 1-1/2   | 1-1/2   | 2       | (2) 2      | (2) 2      | (2) 2     | (2) 2    |
| 25   | Float Valve                       | In.   | 1/2                     | 1/2     | 1/2     | 3/4     | 3/4        | 3/4        | 1         | 1        |
| 26   | Water Inlet                       | In.   | 1/2                     | 1/2     | 1/2     | 3/4     | 3/4        | 3/4        | 1         | 1        |
| 27   | Vent Outlet                       | In.   | 1-1/2                   | 2       | 2       | 2-1/2   | 3          | 3          | 3         | 3        |
| 28   | Return Tank Overflow              | In.   | 1                       | 1       | 1-1/4   | 1-1/4   | 1-1/4      | 2          | 2         | 2        |
| 29   | Return Tank Drain                 | In.   | 1-1/2                   | 1-1/2   | 1-1/2   | 1-1/2   | (2) 2      | (2) 2      | (2) 2     | (2) 2    |
|      | Full Tank Water Capacity          | Gal.  | 11                      | 28      | 49      | 110     | 211        | 264        | 360       | 750      |
|      | Weight - Less Pump & Fit. Approx. | Lbs.  | 87                      | 160     | 210     | 365     | 580        | 660        | 815       | 1325     |
|      | Weight - With Pump & Fit. Approx. | Lbs.  | 132                     | 205     | 265     | 440     | 710        | 790        | 1000      | 1695     |
|      | Crated Shipping Weight Approx.    | Lbs.  | 185                     | 290     | 355     | 540     | 850        | 940        | 1250      | 2000     |

\*1-1/2 SIZE FURNISHED WITH 565-1.25TI CENTRIFUGAL PUMP

PARKER BOILER CO.

Figura 3- 20: Sistemas de recuperación de vapor Steam Boilers 1-1/2 to 300HP, 15 to 250PSI [16].

Mediante la utilización de catálogo mostrado en la Figura 3-19 se seleccionó el sistema de retorno de condensado R1-3HP-ORR1020 de 11 galones de capacidad máxima. El costo de este sistema según proformas entregadas por varias empresas dedicadas a la elaboración de equipos para generación de vapor oscila entre los 1800 a 2400 \$ dependiendo de la tubería y los accesorios a utilizar.

### 3.5.2.2 Instalación de un sistema de retorno de condensado calculado

Debido al elevado costo de adquisición por importación de este tipo de sistemas de retorno de vapor de condensado y al sobre dimensionamiento del mismo se sugirió hacer la adquisición de los diferentes componentes del sistema por separado.

Los componentes más importantes a seleccionar para el sistema de retorno son el tanque de condensado y la bomba por lo que estos serán analizados a continuación.

El tanque de condensado será fabricado en acero al carbono ASTM A 36 y protegido con pintura anticorrosiva que va a ir montada sobre una estructura angular con las dimensiones mostradas en la Figura 3-20

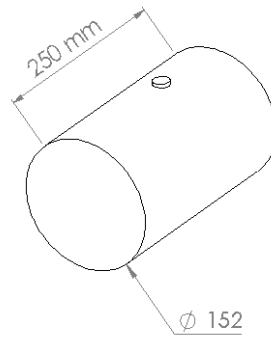


Figura 3- 21: Tanque de almacenamiento del sistema de recuperación de vapor.

La selección de la bomba del sistema se la realizo en base a la sección de la tubería y a la velocidad del fluido con ecuaciones tomadas del libro “Mecánica de Fluidos” de Robert L. Mott.

$$D_{tubería} = 1/2 plg$$

$$V = 10 \text{ m/s}$$

$$R_{tubería} = 0,00635 \text{ m}$$

$$S = \pi * R_{tubería}^2$$

$$S = 1,2667 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = S * V$$

$$Q = 1,2667 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 10 \text{ m/s} = 0,0012667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 76,006 \text{ lt/min}$$

Para la altura dinámica de bombeo o TDH se utiliza se utiliza la Ecuación que relaciona la carga estática y la suma de todas las pérdidas por longitud y por accesorios como se muestra en a continuación:

$$THD = H_{st} + \sum h$$

Donde para este caso se despreció la sumatoria de pérdidas por accesorio y longitud dejando solamente a la carga estática que no es más que la diferencia de nivel entre la bomba y la línea de condensado.

$$THD = 10 \text{ m}$$

Con el caudal, la altura dinámica de bombeo y la gráfica de curvas y datos de presentaciones del catálogo para selección de bombas “PEDROLLO” se selecciona la bomba adecuada para el sistema de retorno de condensado como se ve en la Figura 3-25, tomando en cuenta que se debe seleccionar la bomba más cercana a la intersección de las líneas.

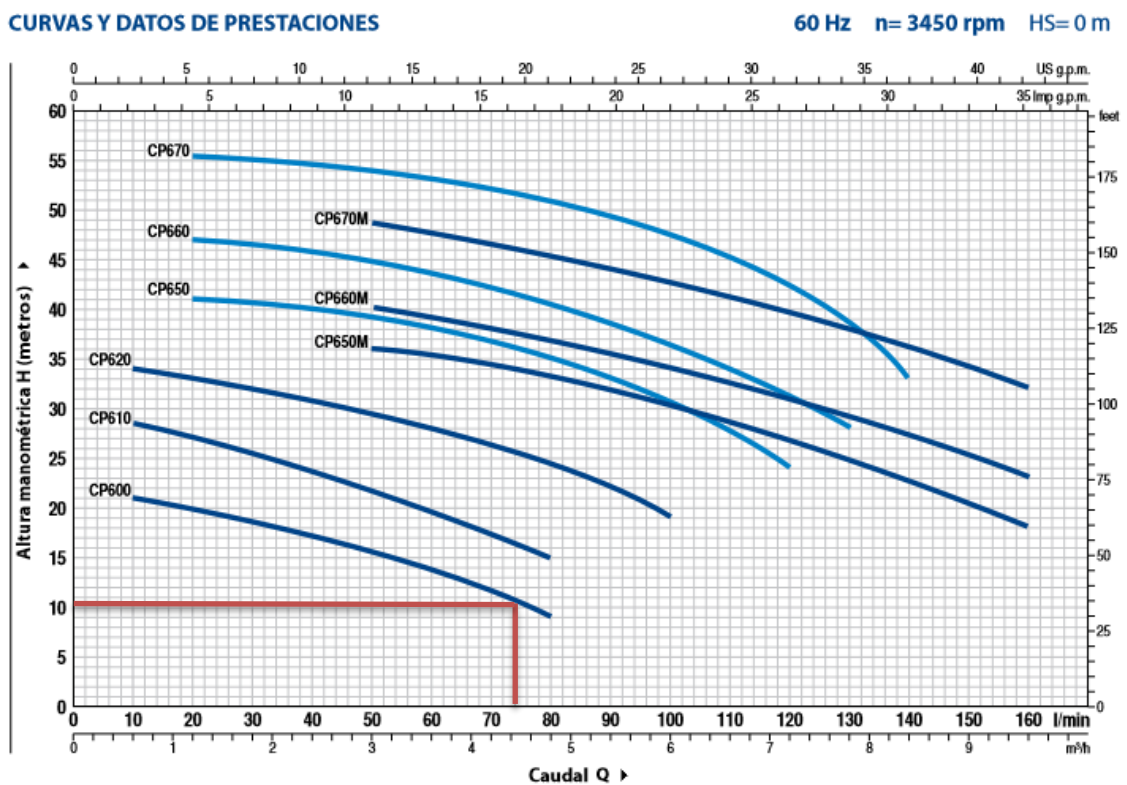


Figura 3- 22: Curvas para selección de bomba centrífuga [21].

Con los datos mencionados y la Figura 3-25 se determinó que la bomba a utilizar en este sistema es la CP 600 Trifásica con una potencia de 0,5 Hp como se muestra en la Figura 3-26.

| MODELO     |           | POTENCIA (P <sub>2</sub> ) |      |     | Q        | H metros          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |  |
|------------|-----------|----------------------------|------|-----|----------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|--|
| Monofásica | Trifásica | kW                         | HP   | ▲   |          | m <sup>3</sup> /h | 0    | 0.6  | 1.2  | 1.8  | 2.4  | 3.0  | 3.6  | 4.2  | 4.8  | 5.4  | 6.0  | 6.6  | 7.2  | 7.8  | 8.4 | 9.0 | 9.6 |  |
|            |           |                            |      |     | l/min    | 0                 | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  | 130  | 140  | 150 | 160 |     |  |
| CPm 600    | CP 600    | 0.37                       | 0.50 |     |          | 22                | 21   | 20   | 18.5 | 17   | 15.5 | 14   | 12   | 9    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |  |
| CPm 610    | CP 610    | 0.60                       | 0.85 | IE2 | H metros | 30                | 28.5 | 27   | 25.5 | 23.5 | 21.5 | 19.5 | 17.5 | 15   |      |      |      |      |      |      |     |     |     |  |
| CPm 620    | CP 620    | 0.75                       | 1    |     |          | 35                | 34   | 33   | 31.5 | 30.5 | 29.5 | 28   | 26.5 | 24.5 | 22   | 19   |      |      |      |      |     |     |     |  |
| CPm 650    | CP 650    | 1.1                        | 1.5  | 42  |          | 41.5              | 41   | 40.5 | 39.5 | 39   | 38   | 36.5 | 35   | 33   | 30   | 27   | 24   |      |      |      |     |     |     |  |
| CPm 660    | CP 660    | 1.5                        | 2    | IE3 |          | 48                | 47.5 | 47   | 46.5 | 46   | 45   | 43.5 | 42   | 40.5 | 38.5 | 36   | 33.5 | 31   | 28   |      |     |     |     |  |
| CPm 670    | CP 670    | 2.2                        | 3    |     |          | 57                | 56.5 | 55.5 | 55   | 54   | 53.5 | 53   | 52   | 50.5 | 49.5 | 47   | 45   | 42.5 | 38   | 33   |     |     |     |  |
| CPm 650M   | CP 650M   | 1.1                        | 1.5  | IE2 |          | 39                | 38.5 | 38   | 37   | 36.5 | 36   | 35   | 34   | 33   | 32   | 30   | 28.5 | 26.5 | 24.5 | 22.5 | 20  | 18  |     |  |
| CPm 660M   | CP 660M   | 1.5                        | 2    | IE3 |          | 43                | 42.5 | 42   | 41   | 40.5 | 40   | 39   | 37.5 | 36.5 | 35   | 34   | 32.5 | 31   | 29   | 27   | 25  | 23  |     |  |
| CPm 670M   | CP 670M   | 2.2                        | 3    |     |          | 51                | 50.5 | 50.5 | 50   | 49.5 | 48.5 | 47.5 | 46.5 | 45   | 44   | 42.5 | 41   | 39.5 | 37.5 | 36   | 34  | 32  |     |  |

Figura 3- 23: Selección de bomba centrífuga para el sistema de retorno [21].

Haciendo un análisis financiero del sistema de recuperación de vapor de las trampas de vapor se obtiene los datos de la Tabla 3-35.

Tabla 3-35: Presupuesto para implementación del sistema.

| SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADO |        |                   |                |
|----------------------------------|--------|-------------------|----------------|
| ELEMENTO                         | UNIDAD | VALOR UNITARIO \$ | COSTO TOTAL \$ |
| Tanque de condensado 125x250 mm  | 1      | 150               | 150            |
| Estructura angular               | 1      | 100               | 100            |
| Bomba centrífuga                 | 1      | 170               | 170            |
| Tubería ½ plg.                   | 45 m   | 1,5               | 67,5           |
| Accesorios hidráulicos           | varios | 80                | 80             |
| Componentes de control           | varios | 120               | 120            |
|                                  |        | TOTAL             | 687,5          |

Los resultados obtenidos del análisis financiero de la instalación del sistema de retorno de condensado de trampas de vapor muestra una significativa disminución de costos en comparación al sistema planteado en el punto 3.5.2.1

### 3.5.3 Material aislante en la tubería de distribución

Para el mejoramiento de la red de distribución se tomó en cuenta el recubrimiento en mal estado y falta del mismo en algunos tramos, lo que produce pérdidas de calor por radiación y convección. Para disminuir las pérdidas anteriormente mencionadas de tramos sin aislar o con aislantes en mal estado se tomó los datos del catálogo Fiberglas mostrado en la Figura 3-17 el cual da parámetros (diámetro y temperatura) para la selección adecuada de recubrimientos, utilizando normativa internacionales como ASTM C 547, ASTM C 1136, Mil Spec. MIL-1-22344D, NOM-009-ENER, CFE-D-4500-04

Los datos utilizados para la selección del recubrimiento son el diámetro de la tubería y temperatura superficial de la misma

Con la ayuda de la Figura 3-17 se determinó el espesor del aislante y la pérdida promedio de energía después de su instalación en los tramos faltantes

| TEMP<br>OPERACION | HASTA 65°C (150°F) |       |      |      |       |      |       |       | HASTA 121°C (250°F) |       |        |      |       |       | HASTA 177°C (350°F) |       |        |      |       |  |
|-------------------|--------------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|---------------------|-------|--------|------|-------|-------|---------------------|-------|--------|------|-------|--|
|                   | E.S.               |       | P.C. |      | T.S.  |      | E.S.  |       | P.C.                |       | T.S.   |      | E.S.  |       | P.C.                |       | T.S.   |      |       |  |
|                   | pulg.              | mm    | mm   | W/m  | °C    | °F   | pulg. | mm    | mm                  | W/m   | °C     | °F   | pulg. | mm    | mm                  | W/m   | °C     | °F   |       |  |
| 1/2               | 12.7               | 1     | 25.4 | 7.44 | 7.15  | 28.7 | 83.6  | 1     | 25.4                | 20.0  | 19.23  | 33.8 | 92.9  | 1     | 25.4                | 36.2  | 34.80  | 40   | 104.0 |  |
| 3/4               | 19.1               | 1     | 25.4 | 8.95 | 8.60  | 29.4 | 84.9  | 1     | 25.4                | 24.2  | 23.27  | 35.4 | 95.8  | 1     | 25.4                | 43.7  | 42.01  | 42.2 | 108.0 |  |
| 1                 | 25.4               | 1     | 25.4 | 9.28 | 8.92  | 28.8 | 83.9  | 1     | 25.4                | 25.0  | 24.03  | 34.2 | 93.5  | 1 1/2 | 38.0                | 45.2  | 43.45  | 40.6 | 105.0 |  |
| 1 1/2             | 38.0               | 1     | 25.4 | 12.1 | 11.63 | 29.3 | 84.8  | 1     | 25.4                | 32.5  | 31.24  | 35.3 | 95.6  | 1 1/2 | 38.0                | 46.5  | 44.70  | 36.8 | 98.2  |  |
| 2                 | 51.0               | 1     | 25.4 | 14.1 | 13.56 | 29.5 | 85.1  | 1     | 25.4                | 38.2  | 36.72  | 35.8 | 96.5  | 1 1/2 | 38.0                | 53.0  | 50.95  | 37.1 | 98.7  |  |
| 3                 | 76.0               | 1     | 25.4 | 19.1 | 18.36 | 29.9 | 85.9  | 1     | 25.4                | 51.6  | 49.61  | 36.8 | 98.2  | 1 1/2 | 38.0                | 70.3  | 67.58  | 38.3 | 101.0 |  |
| 4                 | 102.0              | 1     | 25.4 | 22.9 | 22.02 | 30.3 | 86.5  | 1     | 25.4                | 62.1  | 59.70  | 37.0 | 98.6  | 2     | 50.8                | 69.7  | 67.01  | 35.7 | 96.2  |  |
| 6                 | 152.0              | 1     | 25.4 | 33.9 | 32.59 | 30.6 | 87.1  | 1 1/2 | 38.0                | 66.6  | 64.03  | 34.3 | 93.8  | 2     | 50.8                | 94.4  | 90.75  | 36.6 | 97.8  |  |
| 8                 | 203.0              | 1     | 25.4 | 42.3 | 40.67 | 30.7 | 87.3  | 1 1/2 | 38.0                | 80.4  | 77.29  | 34.3 | 93.8  | 2     | 50.8                | 116.0 | 111.52 | 37   | 98.6  |  |
| 10                | 254.0              | 1     | 25.4 | 54.6 | 52.49 | 31.2 | 88.2  | 1 1/2 | 38.0                | 94.2  | 90.56  | 34.2 | 93.6  | 2     | 50.8                | 137.0 | 131.71 | 37.1 | 98.7  |  |
| 12                | 304.0              | 1 1/2 | 38.0 | 40.6 | 39.03 | 28.9 | 84.0  | 1 1/2 | 38.0                | 109.0 | 104.79 | 34.4 | 93.9  | 2     | 50.8                | 158.0 | 151.90 | 37.3 | 99.1  |  |
| 14                | 356.0              | 1 1/2 | 38.0 | 46.8 | 44.99 | 29.2 | 84.6  | 2     | 50.8                | 99.0  | 95.18  | 32.8 | 91.0  | 2 1/2 | 63.5                | 149.0 | 143.24 | 35.6 | 96.1  |  |
| 16                | 406.0              | 1 1/2 | 38.0 | 52.8 | 50.76 | 29.3 | 84.7  | 2     | 50.8                | 110.0 | 105.75 | 32.9 | 91.2  | 2 1/2 | 63.5                | 167.0 | 160.55 | 35.8 | 96.4  |  |
| 18                | 457.0              | 1 1/2 | 38.0 | 58.8 | 56.53 | 29.1 | 84.4  | 2     | 50.8                | 124.0 | 119.21 | 33.0 | 91.4  | 2 1/2 | 63.5                | 185.0 | 177.85 | 35.9 | 96.7  |  |
| 20                | 508.0              | 1 1/2 | 38.0 | 64.9 | 62.39 | 29.3 | 84.8  | 2     | 50.8                | 136.0 | 130.75 | 33.1 | 91.5  | 2 1/2 | 63.5                | 203.0 | 195.16 | 36.1 | 96.9  |  |
| 24                | 610.0              | 1 1/2 | 38.0 | 76.9 | 73.93 | 29.4 | 84.9  | 2     | 50.8                | 161.0 | 154.78 | 33.2 | 91.7  | 2 1/2 | 63.5                | 239.0 | 229.77 | 36.2 | 97.2  |  |
| 26                | 660.0              | 1 1/2 | 38.0 | 81.0 | 77.87 | 29.3 | 84.8  | 2     | 50.8                | 170.4 | 163.82 | 33.1 | 91.5  | 2 1/2 | 63.5                | 254.7 | 244.86 | 36.2 | 97.1  |  |
| 28                | 711.0              | 1 1/2 | 38.0 | 86.9 | 83.54 | 29.3 | 84.8  | 2     | 50.8                | 182.5 | 175.45 | 33.1 | 91.6  | 2 1/2 | 63.5                | 271.5 | 261.01 | 36.2 | 97.2  |  |
| 30                | 762.0              | 2     | 50.8 | 73.6 | 70.76 | 28.4 | 83.2  | 2 1/2 | 63.5                | 163.0 | 156.70 | 31.8 | 89.2  | 3     | 76.0                | 250.0 | 240.34 | 34.7 | 94.4  |  |

Figura 3- 24: Espesores recomendados; aislamientos para tuberías [22].

Debido a la falta de información para tuberías de 2 1/2” se realizó una interpolación lineal entre 2 y 3” para obtener los valores requeridos que se muestran en la Tabla 3-36.



Tabla 3-36: Pérdidas de calor después de la instalación del material aislante.

| DIÁMETRO DEL TUBO |    | ESPESOR RECOM. |    | PÉRDIDA DE CALOR |       | TEMPERATURA SUPERFICIAL |       |
|-------------------|----|----------------|----|------------------|-------|-------------------------|-------|
| Plg               | mm | Plg            | mm | BTU/h            | W/m   | °C                      | °F    |
| 2                 | 51 | 1 ½            | 38 | 53               | 50,95 | 37,1                    | 98,7  |
| 2 1/2             | 63 | 1 ½            | 38 | 61,65            | 59,27 | 37,7                    | 99,85 |
| 3                 | 76 | 1 ½            | 38 | 70,3             | 67,58 | 38,3                    | 101   |

Con los datos obtenidos de la Tabla 3-36 se realizó un cuadro comparativo de pérdidas de energía del tramo distribuidor – lavandería que se muestra en la Tabla 3-37.

Tabla 3-37: Cuadro comparativo tuberías aisladas vs tuberías no aisladas.

| CUADRO COMPARATIVO           |                 |                 |           |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
|                              | CON AISLAMIENTO | SIN AISLAMIENTO | VARIACIÓN |
| PÉRDIDA DE CALOR (W)         | 503,79          | 968,115         | 464,325   |
| TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C) | 37,7            | 128             | 90,5      |
| ESPESOR RECOMENDADO (Plg)    | 1 ½             | -               | -         |

Según los datos mostrados en el cuadro comparativo analizados en el tramo sin aislar de 8,5 metros, DISTRIBUIDOR - ÁREA DE LAVANDERÍA se pudo obtener una disminución de las pérdidas de calor y temperatura con un 818,145 W y 90,5°C respectivamente, el cual siendo un ahorro significativo en el sistema se recomienda la instalación del recubrimiento.

### 3.6 RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROYECTO TÉCNICO REALIZADO

Tabla 3-38: Resultados obtenidos del proyecto técnico.

| Objetivo  | Resultados  |
|---|---|
| <b>Evaluar la eficiencia térmica del sistema de generación y distribución de vapor.</b>                   | Para la evaluación de la eficiencia térmica de generación y distribución se determinó mediante un análisis térmico, obteniendo valores 79,05% y 84% de eficiencia respectivamente.  |
| <b>Estimar el consumo de vapor de los equipos de las áreas de esterilización y lavandería.</b>            | Para la estimación del consumo de vapor se utilizó la Guía de Diseño Hospitalario para América Latina e Instituto Mexicano de Seguridad Social las cuales permiten determinar el consumo de vapor que necesita un hospital con el número de camas disponibles, las cuales arrojaron valores de 841,4 kg/h y 838,69 kg/h respectivamente para un total de 162 camas disponibles en el Hospital General Latacunga.  |
| <b>Plantear alternativas para reducir las pérdidas de calor del sistema de generación y distribución.</b> | <p>Las alternativas planteadas para reducir las pérdidas de calor en el sistema de generación y distribución de vapor son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación del sistema de recuperación de vapor flash.</li> </ul> <p>El objetivo de la instalación del sistema de recuperación de condensado se intenta recuperar no solo la masa del agua tratada sino también la energía térmica contenida en ella.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazo de trampas de vapor averiadas.</li> </ul> <p>En la red de distribución de vapor del “Hospital General de Latacunga” el funcionamiento inadecuado de las trampas de vapor tiene una influencia en el total de pérdidas del sistema. El funcionamiento adecuado de</p> |

las trampas de vapor es fundamental para una buena eficiencia del sistema y ahorro de combustible, Por lo que una alternativa a plantear para reducir las pérdidas de calor del sistema de generación y distribución es cambiar las trampas de vapor averiadas y seleccionar trampas de vapor adecuadas para el equipo que las utiliza mediante la Tabla 3-31.

Para trampas de vapor de conexiones de  $\frac{1}{2}$  a  $2\frac{1}{2}$  plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de  $\frac{11}{32}$  plg como se muestra en la Figura 3-18, con una presión de 17 bar y 9,091 de kg/hr.

Para trampas de vapor de conexiones de  $\frac{1}{2}$  a 3 plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de  $1\frac{7}{8}$  plg como se muestra en la Figura 3-20, con una presión de 17 bar y 94,545 de kg/hr.

Para trampas de vapor de conexiones de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  plg se tomó los parámetros de diseño de las trampas de vapor con la cual se obtuvo un diámetro de  $\frac{11}{64}$  plg como se muestra en la Figura 3-22, con una presión de 3.5 bar y 726 de kg/hr de descarga

- Material aislante en la tubería de distribución

Para el tramo sin aislar de 8,5 metros, DISTRIBUIDOR - ÁREA DE LAVANDERÍA se pudo obtener una disminución de las pérdidas de calor y temperatura con un 818,145 W y  $90,5^{\circ}\text{C}$  respectivamente, el cual siendo

un ahorro significativo en el sistema se recomienda la instalación del recubrimiento

- Implementación del sistema de recuperación del agua de purga de los equipos.

Los resultados obtenidos del análisis financiero de la instalación del sistema de retorno de condensado de trampas de vapor muestra una significativa disminución de costos en comparación al sistema planteado en el punto 3.5.2.1, recomendando instalar el sistema de elaboración nacional con una bomba de la marca Pedrollo con una potencia de 0,372 Kw (0,5 hp).

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Una vez evaluado el sistema de generación y distribución de vapor del hospital se pudo determinar que la eficiencia del sistema de generación es del 79,05% y del sistema de distribución es del 84%
- Por medio de la Guía de diseño hospitalario de América latina y la normativa del Instituto Mexicano de Seguridad Social IMSS se estableció que el consumo de vapor en las áreas de lavandería y esterilización es de 841 kg/h (1854 lb/h) el cual representa en 68% del total de vapor generado por la caldera
- El presente análisis con la propuesta de mejora, se enfoca en disminuir las pérdidas de calor por purga mediante la implementación del sistema de recuperación de vapor “flash” el cual aportara con un caudal de vapor de 521,63 kg/h al sistema de vapor.
- La pérdida de calor por gases de chimenea es de 102.55 kW representando el 82% de las pérdidas totales del sistema, mientras el 18% son perdidas por convección y radiación.
- El recubrimiento del tramo Distribuidor – Lavandería da como resultado una disminución en pérdidas de calor del 464,32 W el cual representa una disminución del 12% de pérdidas de calor en la red de distribución.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se sugeriría realizar un estudio técnico del quemador de la caldera para reducir las pérdidas de energía por gases de chimenea.
- Se debería instalar un intercambiador de calor para el calentamiento de agua mediante el uso de energía de vapor además, se recomienda deshabilitar las líneas de vapor que se dirigen a equipos que están fuera de funcionamiento.
- Previo a la instalación del aislamiento térmico se debería verificar que no exista fugas en las tuberías, dobladas, oxidadas o con algún tipo de imperfección para obtener los resultados deseados.
- Realizar un plan de mantenimiento de los equipos y accesorios del sistema para poder tener un control de los mismos además, se debería realizar el cambio de trampas de vapor que están fuera de funcionamiento tanto en las líneas de distribución como a las entradas de los equipos.

## Bibliografía

- [1] J. Berrones y C. Ponce, «“Auditoria energética del sistema de vapor del hospital de niños Baca Ortiz.”»,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
  
- [2] C. Santiago, «“Evaluación de pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor del hospital " Dr. Julio Enriquez Paredes",» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2014.
  
- [3] M. Vargas, «“Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa “LA IBÉRICA.”»,» Escuela Superios Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2016.
  
- [4] G. Sanchez, «“Sistema de diagnóstico y generación de vapor de los calderos del Hospital Isidro Ayora.”»,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2012.
  
- [5] J. Soto, Fundamentos sobre ahorro de energía., Merida, Yucatan - Mexico: Universidad Autónoma de Yucatan, 1996, Septiembre 5.
  
- [6] J. M. L. y. Alonso, Calderas de vapor en la industria, Bilbao; España: Cadem-Eve, 1996.
  
- [7] G. d. vapor, «Generadores de vapor caldera,» 25 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://samoexxxporno.ru/generadores-de-vapor-caldera.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2017].

- [8] Y. Cengel, Transferencia de Calor y Masa, México: The McGraw-Hill Companies, 2014.
- [9] Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor, Oxford: The McGraw-Hill, 2002.
- [10] M. M.P y R. Chandra, Progress in Energy Auditing and Conservation. Boiler Operation, Chicago: M.S. Sodha, 2003.
- [11] Quiminet, «¿Qué es el autoclave?,» 02 Junio 2012. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/como-funciona-el-autoclave-22563.htm>. [Último acceso: 13 Mayo 2017].
- [12] E. y. l. d. Colombia, «MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL DESTILADOR DE AGUA,» 26 Enero 2016. [En línea]. Available: [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=4736](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=4736). [Último acceso: 13 Mayo 2017].
- [13] Barcia, «Planchas y calandras Barcia,» 03 Julio 2016. [En línea]. Available: [http://www.barciaindustria.com.ar/planchadoras\\_calandras.php](http://www.barciaindustria.com.ar/planchadoras_calandras.php). [Último acceso: 13 Mayo 2017].
- [14] Cimelco, «Equipos de Lavandería Industrial,» 08 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www.cimelco.com/prensa-de-planchado-pmv--1150.html>. [Último acceso: 22 Mayo 2017].



- [15] Bosch, «Bosch-home.es,» 05 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://innovacionparatuvida.bosch-home.es/wp-content/uploads/2015/10/secadora.jpg>. [Último acceso: 22 Mayo 2017].
- [16] S. Sarco, «Recuperación de calor y agua de la purga de sales para aumentar la eficiencia de la energía,» *Recuperación de calor de purgas de calder*, vol. I, n° 11, p. 6, 2015.
- [17] S. Sarco, «Guía Técnica de Distribución de Vapor,» Spirax Sarco, Madrid - España, 2015.
- [18] L. B. E. G., Norma de Diseño Electromecánico, Ciudad de Mexico - Mexico: Instituto Mexicano de Seguridad Social, 1991.
- [19] I. P. & S. C., Guía de Diseño Hospitalario para América Latina, Mexico DF: Programa de Desarrollo de Servicio de Salud, 199.
- [20] Armstrong, «Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados,» 02 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>. [Último acceso: 21 Junio 2017].
- [21] Pedrollo, «Bonbas Pedrollo,» 09 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://pedrollo.com.ec/categoria-producto/autocebantes/>. [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [22] Fiberglass, «Aislamiento para tuberías OWENS CORNING FIBERGLAS,» 04 Octubre 2015. [En línea]. Available:

# ANEXOS

## ANEXO A. Propiedades del aire

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

| Temp.,<br>$T, ^\circ\text{C}$ | Densidad,<br>$\rho, \text{kg/m}^3$ | Calor<br>específico,<br>$c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$ | Conductividad<br>térmica,<br>$k, \text{W/m} \cdot \text{K}$ | Difusividad<br>térmica,<br>$\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$ | Viscosidad<br>dinámica,<br>$\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$ | Viscosidad<br>cinemática,<br>$\nu, \text{m}^2/\text{s}$ | Número<br>de Prandtl,<br>Pr |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|--|--|---|-----------------------------|
| -150                          | 2.866                              | 983   | 0.01171   | $4.158 \times 10^{-6}$                                     | $8.636 \times 10^{-6}$                                       | $3.013 \times 10^{-6}$                                  | 0.7246                      |
| -100                          | 2.038                              | 966   | 0.01582   | $8.036 \times 10^{-6}$                                     | $1.189 \times 10^{-5}$                                       | $5.837 \times 10^{-6}$                                  | 0.7263                      |
| -50                           | 1.582                              | 999   | 0.01979   | $1.252 \times 10^{-5}$                                     | $1.474 \times 10^{-5}$                                       | $9.319 \times 10^{-6}$                                  | 0.7440                      |
| -40                           | 1.514                              | 1 002   | 0.02057   | $1.356 \times 10^{-5}$                                     | $1.527 \times 10^{-5}$                                       | $1.008 \times 10^{-5}$                                  | 0.7436                      |
| -30                           | 1.451                              | 1 004   | 0.02134   | $1.465 \times 10^{-5}$                                     | $1.579 \times 10^{-5}$                                       | $1.087 \times 10^{-5}$                                  | 0.7425                      |
| -20                           | 1.394                              | 1 005   | 0.02211   | $1.578 \times 10^{-5}$                                     | $1.630 \times 10^{-5}$                                       | $1.169 \times 10^{-5}$                                  | 0.7408                      |
| -10                           | 1.341                              | 1 006   | 0.02288   | $1.696 \times 10^{-5}$                                     | $1.680 \times 10^{-5}$                                       | $1.252 \times 10^{-5}$                                  | 0.7387                      |
| 0                             | 1.292                              | 1 006   | 0.02364   | $1.818 \times 10^{-5}$                                     | $1.729 \times 10^{-5}$                                       | $1.338 \times 10^{-5}$                                  | 0.7362                      |
| 5                             | 1.269                              | 1 006   | 0.02401   | $1.880 \times 10^{-5}$                                     | $1.754 \times 10^{-5}$                                       | $1.382 \times 10^{-5}$                                  | 0.7350                      |
| 10                            | 1.246                              | 1 006   | 0.02439   | $1.944 \times 10^{-5}$                                     | $1.778 \times 10^{-5}$                                       | $1.426 \times 10^{-5}$                                  | 0.7336                      |
| 15                            | 1.225                              | 1 007   | 0.02476   | $2.009 \times 10^{-5}$                                     | $1.802 \times 10^{-5}$                                       | $1.470 \times 10^{-5}$                                  | 0.7323                      |
| 20                            | 1.204                              | 1 007   | 0.02514   | $2.074 \times 10^{-5}$                                     | $1.825 \times 10^{-5}$                                       | $1.516 \times 10^{-5}$                                  | 0.7309                      |
| 25                            | 1.184                              | 1 007   | 0.02551   | $2.141 \times 10^{-5}$                                     | $1.849 \times 10^{-5}$                                       | $1.562 \times 10^{-5}$                                  | 0.7296                      |
| 30                            | 1.164                              | 1 007   | 0.02588   | $2.208 \times 10^{-5}$                                     | $1.872 \times 10^{-5}$                                       | $1.608 \times 10^{-5}$                                  | 0.7282                      |
| 35                            | 1.145                              | 1 007   | 0.02625   | $2.277 \times 10^{-5}$                                     | $1.895 \times 10^{-5}$                                       | $1.655 \times 10^{-5}$                                  | 0.7268                      |
| 40                            | 1.127                              | 1 007   | 0.02662   | $2.346 \times 10^{-5}$                                     | $1.918 \times 10^{-5}$                                       | $1.702 \times 10^{-5}$                                  | 0.7255                      |
| 45                            | 1.109                              | 1 007   | 0.02699   | $2.416 \times 10^{-5}$                                     | $1.941 \times 10^{-5}$                                       | $1.750 \times 10^{-5}$                                  | 0.7241                      |
| 50                            | 1.092                              | 1 007   | 0.02735   | $2.487 \times 10^{-5}$                                     | $1.963 \times 10^{-5}$                                       | $1.798 \times 10^{-5}$                                  | 0.7228                      |
| 60                            | 1.059                              | 1 007   | 0.02808   | $2.632 \times 10^{-5}$                                     | $2.008 \times 10^{-5}$                                       | $1.896 \times 10^{-5}$                                  | 0.7202                      |
| 70                            | 1.028                              | 1 007   | 0.02881   | $2.780 \times 10^{-5}$                                     | $2.052 \times 10^{-5}$                                       | $1.995 \times 10^{-5}$                                  | 0.7177                      |
| 80                            | 0.9994                             | 1 008   | 0.02953   | $2.931 \times 10^{-5}$                                     | $2.096 \times 10^{-5}$                                       | $2.097 \times 10^{-5}$                                  | 0.7154                      |
| 90                            | 0.9718                             | 1 008   | 0.03024   | $3.086 \times 10^{-5}$                                     | $2.139 \times 10^{-5}$                                       | $2.201 \times 10^{-5}$                                  | 0.7132                      |
| 100                           | 0.9458                             | 1 009   | 0.03095   | $3.243 \times 10^{-5}$                                     | $2.181 \times 10^{-5}$                                       | $2.306 \times 10^{-5}$                                  | 0.7111                      |
| 120                           | 0.8977                             | 1 011   | 0.03235   | $3.565 \times 10^{-5}$                                     | $2.264 \times 10^{-5}$                                       | $2.522 \times 10^{-5}$                                  | 0.7073                      |
| 140                           | 0.8542                             | 1 013   | 0.03374   | $3.898 \times 10^{-5}$                                     | $2.345 \times 10^{-5}$                                       | $2.745 \times 10^{-5}$                                  | 0.7041                      |
| 160                           | 0.8148                             | 1 016   | 0.03511   | $4.241 \times 10^{-5}$                                     | $2.420 \times 10^{-5}$                                       | $2.975 \times 10^{-5}$                                  | 0.7014                      |
| 180                           | 0.7788                             | 1 019   | 0.03646   | $4.593 \times 10^{-5}$                                     | $2.504 \times 10^{-5}$                                       | $3.212 \times 10^{-5}$                                  | 0.6992                      |
| 200                           | 0.7459                             | 1 023   | 0.03779   | $4.954 \times 10^{-5}$                                     | $2.577 \times 10^{-5}$                                       | $3.455 \times 10^{-5}$                                  | 0.6974                      |

ANEXO B Propiedades de emisividad

**Normal-total emissivity**

| Metal                                       | Surface temperature, <sup>a</sup><br>°F (K) | $\epsilon'$ |
|---|---|-------------|
| <b>Aluminum:</b>                            |   |             |
| highly polished plate                       | 400–1100 (480–870)                          | 0.038–0.06  |
| bright foil                                 | 70 (295)                                    | 0.04        |
| polished plate                              | 212 (373)                                   | 0.095       |
| heavily oxidized                            | 200–1000 (370–810)                          | 0.20–0.33   |
| Antimony, polished                          | 100–500 (310–530)                           | 0.28–0.31   |
| Bismuth, bright                             | 176 (350)                                   | 0.34        |
| <b>Brass:</b>                               |   |             |
| highly polished                             | 500–700 (530–640)                           | 0.028–0.031 |
| polished                                    | 200 (370)                                   | 0.09        |
| dull  | 120–660 (320–620)                           | 0.22        |
| oxidized                                    | 400–1000 (480–810)                          | 0.60        |
| Cadmium                                     | 77 (298)                                    | 0.02        |
| Chromium, polished                          | 100–2000 (310–1370)                         | 0.08–0.40   |
| <b>Copper:</b>                              |   |             |
| highly polished                             | 100 (310)                                   | 0.02        |
| polished                                    | 100–500 (310–530)                           | 0.04–0.05   |
| scraped, shiny                              | 100 (310)                                   | 0.07        |
| slightly polished                           | 100 (310)                                   | 0.15        |
| black oxidized                              | 100 (310)                                   | 0.78        |
| Dow metal                                   | 0–600 (255–590)                             | 0.15        |
| <b>Gold:</b>                                |   |             |
| highly polished                             | 200–1100 (370–870)                          | 0.018–0.035 |
| polished                                    | 266 (400)                                   | 0.018       |
| Haynes alloy X, oxidized                    | 600–2000 (590–1370)                         | 0.85–0.88   |
| <b>Iron:</b>                                |   |             |
| highly polished <sup>2</sup> , electrolytic | 100–500 (310–530)                           | 0.05–0.07   |
| polished                                    | 800–900 (700–760)                           | 0.14–0.38   |
| freshly rubbed with emery                   | 100 (310)                                   | 0.24        |
| wrought iron, polished                      | 100–500 (310–530)                           | 0.28        |
| cast iron, freshly turned                   | 100 (310)                                   | 0.44        |
| iron plate, pickled, then rusted red        | 68 (293)                                    | 0.61        |
| cast iron, oxidized at 1100°F               | 400–1100 (480–870)                          | 0.64–0.78   |
| cast iron, rough, strongly oxidized         | 100–500 (310–530)                           | 0.95        |
| <b>Lead:</b>                                |   |             |
| polished                                    | 100–500 (310–530)                           | 0.06–0.08   |
| rough unoxidized                            | 100 (310)                                   | 0.43        |
| oxidized at 1100°F                          | 100 (310)                                   | 0.63        |
| Magnesium, polished                         | 100–500 (310–530)                           | 0.07–0.13   |
| Mercury, unoxidized                         | 40–200 (280–370)                            | 0.09–0.12   |

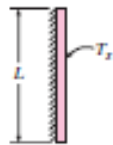
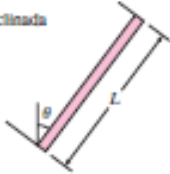
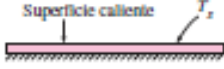
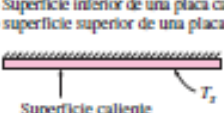
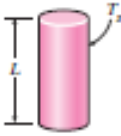
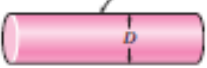
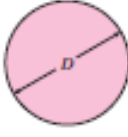
<sup>a</sup>When temperatures and emissivities both have ranges, linear interpolation can be used over these values.

(Table continues on next page)

ANEXO C; Correlación empíricas del numero promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies; Fuente [6]

**TABLA 9-1**

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

| Configuración geométrica   | Longitud característica $L_c$ | Intervalo de Ra  | Nu  |
|--|-------------------------------|--|---|
| <p>Placa vertical</p>   | $L$                           | $10^4 - 10^9$<br>$10^9 - 10^{13}$<br>Todo el intervalo | $Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19)<br>$Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20)<br>$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-21)<br>(compleja pero más exacta)              |
| <p>Placa inclinada</p>   | $L$                           |  | Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente<br><br>Reemplácese $g$ por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$ |
| <p>Placa horizontal (Área superficial <math>A</math> y perímetro <math>p</math>)</p> <p>a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)</p>  | $A_s/p$                       | $10^4 - 10^7$<br>$10^7 - 10^{11}$                      | $Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22)<br>$Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23)  |
| <p>b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría)</p>   |                               |  | $Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)  |
| <p>Cilindro vertical</p>    | $L$                           |  | Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando<br><br>$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$   |
| <p>Cilindro horizontal</p>    | $D$                           | $Ra_D \leq 10^{12}$                                    | $Nu = \left[ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-25)   |
| <p>Esfera</p>   | $D$                           | $Ra_D \leq 10^{11}$<br>$(Pr \geq 0.7)$                 | $Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)  |

ANEXO D Análisis del monitoreo de emisiones de fuentes fijas de combustión; Fuente  
Hospital General Latacunga

ANEXO E Consumo de vapor según el número de camas; Fuente: “GUÍA DE DISEÑO HOSPITALARIO”, pág. 18

Hospital de 100 camas

| Area                      | Consumo vapor                                       |
|---------------------------|---|
| Lavandería . . . . .      | 800 libras por hora                                 |
| Servicio de alimentación  | 500 libras por hora                                 |
| Esterilización . . . . .  | 500 libras por hora                                 |
| Agua caliente . . . . .   | 900 libras (depende de la temperatura de la ciudad) |
| Total de consumo de vapor | 2.700 libras por hora = 28.26 BHP                   |

Hospital de 200 camas

| Area                           | Consumo de vapor                        |
|--------------------------------|---|
| Lavandería . . . . .           | 1.500 libras por hora                   |
| Servicio de Alimentación       | 600 libras por hora                     |
| Esterilización . . . . .       | 700 libras por hora                     |
| Agua Caliente . . . . .        | 1.500 libras por hora                   |
| Total consumo de vapor .       | 4.300 libras por hora igual a 124.5 BHP |
| (1 BHP = 34.5 libras por hora) |   |

ANEXO F consumo de vapor según el Instituto Mexicano de Seguridad Social



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

NORMAS DE DISEÑO DE INGENIERÍA

INGENIERÍA HIDRAULICA SANITARIA Y ESPECIALES

7.- ANEXOS

| Nº DE CAMAS | OPERACION       | Kg/día | Kg/hora | CONSUMO AGUA CALIENTE |  | CONSUMO DE VAPOR |            |        |
|-------------|-----------------|--------|---------|-----------------------|--|------------------|------------|--------|
|             |                 |        |         | L/Hr                  |  | POR EQUIPO       | TOTAL      |        |
|             |                 |        |         |                       |  | Kg/Hr            | Kg/Hr      |        |
| 140         | Lavado          | 1568   | 224     | 4 704                 |  | 216.38           |            | Secado |
|             | 392             | 56     | -       | 109.78                |  | 579.2            |            |        |
|             | Planchado plano | 1176   | 168     | -                     |  | 179.77           | (37.00 cc) |        |
|             | Planchado forma | 78.4   | 11.2    | -                     |  | 73.27            |            |        |
| 160         | Lavado          | 1792   | 256     | 5 376                 |  | 247.3            |            | Secado |
|             | 448             | 64     | -       | 109.78                |  | 610.12           |            |        |
|             | Planchado plano | 1344   | 192     | -                     |  | 179.77           | (38.98 cc) |        |
|             | Planchado forma | 89.6   | 12.8    | -                     |  | 73.27            |            |        |
| 180         | Lavado          | 2016   | 288     | 6 048                 |  | 278.2            |            | Secado |
|             | 504             | 72     | -       | 109.78                |  | 733.1            |            |        |
|             | Planchado plano | 1512   | 216     | -                     |  | 235.22           | (46.84 cc) |        |
|             | Planchado forma | 100.8  | 14.4    | -                     |  | 109.9            |            |        |
| 200         | Lavado          | 2240   | 320     | 6 720                 |  | 309.1            |            | Secado |
|             | 560             | 80     | -       | 109.78                |  | 764.00           |            |        |
|             | Planchado plano | 1680   | 240     | -                     |  | 235.22           | (48.81 cc) |        |
|             | Planchado forma | 112    | 16      | -                     |  | 109.90           |            |        |
| 240         | Lavado          | 2688   | 384     | 8 064                 |  | 370.95           |            | Secado |
|             | 672             | 96     | -       | 164.67                |  | 880.74           |            |        |
|             | Planchado plano | 2016   | 288     | -                     |  | 235.22           | (56.28 cc) |        |
|             | Planchado forma | 134.4  | 19.2    | -                     |  | 109.9            |            |        |
| 300         | Lavado          | 3360   | 480     | 10 080                |  | 463.68           |            | Secado |
|             | 840             | 120    | -       | 164.67                |  | 1010.07          |            |        |
|             | Planchado plano | 2520   | 360     | -                     |  | 235.22           | (64.54 cc) |        |
|             | Planchado forma | 168    | 24      | -                     |  | 146.50           |            |        |
| 350         | Lavado          | 3920   | 560     | 11 760                |  | 540.96           |            | Secado |
|             | 980             | 140    | -       | 219.56                |  | 1320.06          |            |        |
|             | Planchado plano | 2940   | 420     | -                     |  | 376.36           | (84.35 cc) |        |
|             | Planchado forma | 196    | 28      | -                     |  | 183.18           |            |        |
| 400         | Lavado          | 4480   | 644     | 13 440                |  | 618.24           |            | Secado |
|             | 1120            | 160    | -       | 219.56                |  | 1397.34          |            |        |
|             | Planchado plano | 3360   | 480     | -                     |  | 376.36           | (89.29 cc) |        |
|             | Planchado forma | 224    | 32      | -                     |  | 183.18           |            |        |
| 450         | Lavado          | 5040   | 720     | 15 120                |  | 695.52           |            | Secado |
|             | 1260            | 180    | -       | 219.56                |  | 1511.44          |            |        |
|             | Planchado plano | 3780   | 540     | -                     |  | 376.36           | (96.58 cc) |        |
|             | Planchado forma | 252    | 36      | -                     |  | 220.00           |            |        |
| 500         | Lavado          | 5600   | 800     | 16 800                |  | 772.8            |            | Secado |
|             | 1400            | 200    | -       | 274.45                |  | 1643.61          |            |        |
|             | Planchado plano | 4200   | 600     | -                     |  | 376.36           | (105.02cc) |        |
|             | Planchado forma | 280    | 40      | -                     |  | 220.00           |            |        |

A-1 Consumos de Agua Caliente y Vapor en Lavanderías para Hospitales (continúa)



ANEXO F Dimensiones del tanque de vaporizado FV6/M310 “flash” Fuente:  
Manual de Spirax Sarco. “Purga de vapor y eliminación de aire”

| Item | Referencia del sistema de tanque de revaporizado | FVS6/   |         |       | FVS8/   |        |         | FVS12/  |       |       |        | FVS15/  |       |       |        | FVS18/  |       |            |       |       |
|------|--|---|---------|-------|---|--------|---------|---|-------|-------|--------|---|-------|-------|--------|---|-------|------------|-------|-------|
|      |  | M3-8  | M3-10   | M3-21 | M3-10   | M3-21  | M3-31   | M3-21   | M3-31 | M6-12 | M6-15  | M6-12   | M6-15 | M6-19 | M6-21  | M6-15   | M6-19 | M6-21      | M6-25 | M6-33 |
| 1    | Tanque de revaporizado                           | FV6 (BSP)   |         |       | FV8 (BSP/PN16)  |        |         | FV12 (BSP/PN16)   |       |       |        | FV15 (BSP/PN16)   |       |       |        | FV18 (BSP/PN16)   |       |            |       |       |
| 2    | Conjunto para manómetro                          | Incluye: Manóm. 4" 0-4 bar r, sífon-U y grifo purga                 |         |       | Incluye: Manóm. 4" 0-4 bar r, sífon-U y grifo purga                 |        |         | Incluye: Manómetro 4" 0-4 bar r, sífon-U y grifo purga              |       |       |        | Incluye: Manómetro 4" 0-4 bar r, sífon-U y grifo purga              |       |       |        | Incluye: Manómetro 4" 0-4 bar r, sífon-U y grifo purga              |       |            |       |       |
| 3    | Válvula de seguridad                             | SV615AS<br>½" rosca BSP*<br>tarada a 2 bar r                        |         |       | SV615AS<br>¾" rosca BSP*<br>tarada a 2 bar r                        |        |         | SV615AS<br>1" rosca BSP*<br>tarada a 2 bar r                        |       |       |        | SV615AS<br>1½" rosca BSP*<br>tarada a 2 bar r                       |       |       |        | SV615AS<br>1½" rosca BSP*<br>tarada a 2 bar r                       |       |            |       |       |
| 4    | Rompedor de vacío                                | VB14<br>½" rosca BSP  |         |       | VB14<br>½" rosca BSP  |        |         | VB14<br>½" rosca BSP  |       |       |        | VB14<br>½" rosca BSP  |       |       |        | VB14<br>½" rosca BSP  |       |            |       |       |
| 5    | Distribuidor de vapor                            | SD40<br>1½" rosca BSP   |         |       | SD50<br>2" rosca BSP  |        |         | SD80<br>3" rosca BSP  |       |       |        | SD100<br>DN100 brida PN16   |       |       |        | SD150<br>DN150 bridas PN16  |       |            |       |       |
| 6    | Válvula de descarga del tanque de revaporizado   | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" rosca BSP |         |       | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" rosca BSP |        |         | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" rosca BSP |       |       |        | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" rosca BSP |       |       |        | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" rosca BSP |       |            |       |       |
| 7    | Purgador(es) FT14- 4.5                           | 1" BSP  | 1½" BSP |       | 1½" BSP   | 2" BSP | 1½" BSP | 2" BSP  |       |       | 2" BSP | 2" BSP x 2  |       |       | 2" BSP |   |       | 2" BSP x 2 |       |       |

**Sistemas de intercambiador de calor**

| Item | Referencia del sistema intercambiador de calor | FVS6/  |       |       | FVS8/  |       |       | FVS12/   |       |       |       | FVS15/  |       |       |       | FVS18/  |       |       |       |       |
|------|--|--|-------|-------|--|-------|-------|--|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
|      |  | M3-8   | M3-10 | M3-21 | M3-10  | M3-21 | M3-31 | M3-21  | M3-31 | M6-12 | M6-15 | M6-12   | M6-15 | M6-19 | M6-21 | M6-15   | M6-19 | M6-21 | M6-25 | M6-33 |
| 8    | Bomba eléctrica (solo 240 V)                   | RP1<br>1" BSP  |       |       | RP1<br>1" BSP<br>RPS2<br>¾" BSP                                |       |       | RP1<br>1" BSP<br>RPS2<br>¾" BSP<br>RPS3<br>1½" BSP                       |       |       |       | RPS2<br>¾" BSP<br>RPS3<br>1½" BSP<br>RP5<br>2" BSP            |       |       |       | RPS3<br>1½" BSP<br>RP5<br>2" BSP<br>RP4<br>2" BSP             |       |       |       |       |
| 9    | Válvulas de interrupción del tanque            | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>1½" BSP |       |       | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>1½" BSP |       |       | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>1½" BSP<br>2" BSP |       |       |       | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" BSP |       |       |       | Válvula de esfera (no-venteadada)<br>Spirax-Monnier<br>2" BSP |       |       |       |       |
| 10   | Filtro de la bomba Fig 12SG Fig 13CI           | 1½" BSP  |       |       | 1½" BSP  |       |       | 1½" BSP<br>2" BSP  |       |       |       | 2" BSP  |       |       |       | 2" BSP  |       |       |       |       |
| 11   | Intercambiador de calor                        | M3-8   | M3-10 | M3-21 | M3-10  | M3-21 | M3-31 | M3-21  | M3-31 | M6-12 | M6-15 | M6-12   | M6-15 | M6-19 | M6-21 | M6-15   | M6-19 | M6-21 | M6-25 | M6-33 |
|      |  | 1½" BSP  |       |       | 1½" BSP  |       |       | 1½" BSP<br>2" BSP  |       |       |       | 2" BSP  |       |       |       | 2" BSP  |       |       |       |       |
| 12   | Termostato                                     | Tipo HTS3  |       |       | Tipo HTS3  |       |       | Tipo HTS3  |       |       |       | Tipo HTS3   |       |       |       | Tipo HTS3   |       |       |       |       |

ANEXO G Equipos instalados que consumen vapor para su funcionamiento.  
Fuente: "Propia"



ANEXO H Mediciones de temperatura . Fuente: "Propia"



ANEXO H Instalación del equipo de medición de caudal. Fuente: “Propia”



