



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y  
VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES  
IV PROMOCIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE MAGISTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEMA: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE  
VAPOR EN EL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL”**

**AUTOR: ING. HERNÁNDEZ RUEDA, ERIK PAÚL**

**DIRECTORA: ING. MSc. ARLA, SANDRA**

**SANGOLQUÍ, DICIEMBRE DE 2015**



## MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES IV PROMOCIÓN

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE VAPOR EN EL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL**"<sup>TM</sup> realizado por el señor **ING. ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA**, ha sido revisado en su totalidad, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ING. ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA** para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 20 de diciembre del  
2015

---

ING. SANDRA ARLA ODIO, MSc

**DIRECTOR**



## MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES IV PROMOCIÓN

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA**, con cédula de identidad N° 100297806-0, declaro que este trabajo de titulación "**ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE VAPOR EN EL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 20 de diciembre del  
2015

ING. **ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA**

C.C.100297806-0



## MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES IV PROMOCIÓN

### AUTORIZACIÓN

Yo, **ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE VAPOR EN EL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolqui, 20 de diciembre del  
2015



**ERIK PAUL HERNANDEZ RUEDA**

C.C. 100297806-0

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de investigación, se lo dedico a mi esposa Carmita y mis hijos Fausto y Thais de quienes tome el tiempo para poder lanzarme a esta aventura que fue mi maestría. A mis padres ya que sin su apoyo incondicional nada hubiera sido posible. A mis hermanas por jamás haberme dejado de apoyar en todo momento.*

**Paúl**

## AGRADECIMIENTO

*A mi esposa Carmita, mis hijos Fausto y Thais por el tiempo lejos  
y por el apoyo en las horas más difíciles.*

*A mi mami Conchita por ser esa voz que jamás ha dejado darme  
por vencido*

*A mi papa Fausto por ser incondicional a pesar de todos mis  
errores.*

*A mi Hermana Soraya mi segunda madre, por tantos años y  
tantas cosas juntos*

*A mi Hermana Jessy por todo ese apoyo eficiente y convertirse en  
mi voz cuando mi garganta se niega a expresarse.*

**Paúl**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Definición del Problema .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 Alcance .....	3
1.5 Justificación e Importancia de la Investigación .....	3
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>2 ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA ENERGÉTICO TÉRMICO DEL HOSPITAL</b> .....	<b>5</b>
2.1 Estado del arte del sistema energético de vapor del hospital .....	5
2.1.1 Antecedentes Históricos.....	5
2.1.2 Características Geográficas, Demográficas, Sociales y Culturales...	6
2.1.3 Organización administrativa .....	9
2.1.4 Servicios brindados .....	13
2.1.5 Datos estadísticos de cobertura .....	14
2.1.6 Normativa energética para hospitales .....	15

	viii
2.2 Eficiencia Energética.....	17
2.2.1 Estado del arte de la situación energética en el Hospital San Vicente de Paúl .....	18
2.2.2 Determinación de la Matriz Energética.....	21
2.2.3 Identificación del sistema .....	23
2.2.3.1 Elementos Recuperación de Condensado .....	30
2.2.3.2 Elementos de Consumo .....	31
2.2.3.3 Sistema de Vacío .....	39
2.2.3.4 Sistemas de Gases Medicinales .....	40
2.2.3.5 Sistema de Agua Potable y Residual .....	40
2.2.3.6 Otros sistemas .....	46
2.2.4 Selección del Sistema Térmico como potencialmente gestionable .....	46
2.2.4.1 Cálculo de Índices de Desempeño Energético .....	46
2.2.4.2 Balance Energético del Sistema Térmico.....	52
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>78</b>
<b>3 PROPUESTA .....</b>	<b>78</b>
3.1 Propuesta de gestión energética.....	78
3.2 Determinación de Parámetros y Variables .....	80
3.2.1 Determinación de los parámetros y variables que serán utilizadas.	80
3.3 Desarrollo del Modelo Matemático del Sistema Térmico .....	106
3.4 Simulación de Resultados.....	107
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>108</b>
<b>4 ELABORACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA EL HOSPITAL.....</b>	<b>108</b>
4.1 Formulación de Soluciones Operativas de Inversión .....	108
4.2 Evaluación Técnico-económica de las oportunidades de ahorro en el Sistema Térmico.....	113
4.3 Costo de Implementación y Retorno de la Inversión .....	115
4.4 Estrategias de Ahorro Energético .....	116
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>119</b>



	ix
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>119</b>
5.1 Conclusiones.....	119
5.2 Recomendaciones.....	120
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Recursos Humanos .....	13
Cuadro 2: Servicios que brinda .....	13
Cuadro 3: Hospitalización 2009 – 2013 .....	14
Cuadro 4: Clasificación de hospitales Chile.....	19
Cuadro 5: Consumo energético Hospital San Vicente de Paul.....	21
Cuadro 6: Análisis económico de los recursos .....	22
Cuadro 7: Sistema Generación de Vapor .....	27
Cuadro 8: Elementos de Distribución .....	29
Cuadro 9: Elementos Recuperación.....	30
Cuadro 10: Elementos de Consumo.....	31
Cuadro 11: Elementos de suministro de agua fría.....	42
Cuadro 12: Elementos de suministro de agua caliente y recirculación .....	44
Cuadro 13: Datos de placa Datos caldero N°1 .....	66
Cuadro 14: Datos de placa Datos caldero N°2 .....	66
Cuadro 15: Historial de medición de temperatura del caldero .....	75
Cuadro 16: Perfil de funcionamiento del caldero resumido por horas.....	76
Cuadro 17: Valores referencias de exceso de aire en función del combustible y tipo de quemador .....	79
Cuadro 18: Valores de Nu. ....	86
Cuadro 19: Valores de Nu. ....	89
Cuadro 20: Flujo de vapor fugado por diámetro de la fuga.....	105
Cuadro 21: Pérdidas debido a los accesorios en tuberías. ....	106
Cuadro 22: Pérdidas de calor en tubería desnuda .....	108
Cuadro 23: Pérdidas de calor en tubería desnuda luego de aislamiento térmico. ....	109
Cuadro 24: Costo de aislamiento térmico de tubería.....	109
Cuadro 25: Perdida de calor en tanque de condensados.....	110
Cuadro 26: Perdidas de calor por fugas. ....	110
Cuadro 27: Costos de reparación de fugas. ....	111

Cuadro 28: Pérdidas de calor en trampas de vapor. ....	111
Cuadro 29: Costos de reemplazo de trampas de vapor. ....	112
Cuadro 30: Variación de la eficiencia en función de la relación A/C. ....	112
Cuadro 31: Costos adquisición del equipo para análisis de gases. ....	113
Cuadro 32: Comparativo matriz energética de consumo de vapor. ....	115
Cuadro 33: Costos de inversión en mejoras. ....	115
Cuadro 34: Flujo de caja generado por la implementación de mejoras y cálculo de TIR. ....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Procesos .....	12
Figura 2: Distribución de la muestra según cantidad de camas para consumo eléctrico. ....	20
Figura 3: Consumo eléctrico promedio anual según cantidad de camas.....	20
Figura 4: Índices energéticos año 2013 .....	21
Figura 5: Análisis económico consumo energético HSVP.....	22
Figura 6: Consumo de energía térmica del hospital .....	39
Figura 7: Consumos del año 2014 .....	40
Figura 8: Indicadores consumo energético anual por cama escenarios 1, 2, 3 .....	51
Figura 9: Esquema de un balance energético de un sistema térmico. ....	52
Figura 10: Esquema de eficiencia energética en un balance térmico.....	55
Figura 11: Esquema de caldero piro tubular .....	58
Figura 12: Calderos Hospital San Vicente de Paul .....	65
Figura 13: Coraza del caldero .....	68
Figura 14: Hogar del caldero.....	68
Figura 15: Banco de tubos .....	69
Figura 16: Quemador de encendido.....	70
Figura 17: Ablandador de agua.....	71
Figura 18: Tanque de condensado-alimentación de agua .....	71
Figura 19: Bombas de alimentación de químicos al caldero .....	72
Figura 20: Bombas de alimentación de agua al Caldero.....	72
Figura 21: Bomba de alimentación de diésel .....	73
Figura 22: Esquema de medición de temperatura.....	74
Figura 23: Grafica del perfil de funcionamiento del caldero .....	76
Figura 24: Perfil de operación de la presión en el caldero .....	77
Figura 25: Composición del gas de combustión en función de la cantidad de aire.....	79

Figura 26: Transferencia de calor en hogar de la caldera .....	85
Figura 27: Transferencia de calor en la segunda fase de la caldera.....	88
Figura 28: Pérdidas de calor en el exterior de la caldera .....	91
Figura 29: Pérdidas de calor en la tapa delantera.....	93
Figura 30: Transferencia de calor en tubería .....	99

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación ejecutó una evaluación inicial de los índices de consumo energético hospitalario  $12.32 \frac{MWh}{año}$  en el sistema eléctrico y sistema térmico del Hospital San Vicente de Paul de la ciudad de Ibarra. Obtenidos y compararlos con estándares internacionales de hospitales de características similares, dieron la pauta para realizar la propuesta optimización. La presente investigación se focaliza en el sistema térmico, por su potencial gestionabilidad energética. Empieza con la determinación real de la eficiencia del sistema de generación y su consecuente sistema de distribución de vapor, la presente consta de la parte experimental con el análisis de gases de combustión y cálculo de pérdidas energéticas en la generación y distribución de vapor. Resultando la realidad cuantificada en términos de eficiencia, se propone un plan de gestión energética, el que consiste en la mejora de; la relación aire combustible en la combustión de la caldera, del sistema de distribución mediante sustitución y mantenimiento de los aislamientos térmicos, fugas y cambio de elementos en mal estado con lo cual se mejora el rendimiento del sistema térmico mejorando los índices de consumo energético iniciales para situarlos en estándares internacionales con un costo de inversión bajo y recuperación a corto plazo. La investigación propone un modelo matemático aplicable para el análisis de la eficiencia de cualquier sistema térmico que puede cuantificarse en un hospital. El aporte del proyecto, permitirá establecer una base comparativa para medir, evaluar y mejorar los índices basándose en la eficiencia del sistema térmico. Finalmente se proponen estrategias de ahorro que pueden ser adaptadas a cada necesidad.

**PALABRAS CLAVE:** EFICIENCIA ENERGÉTICA,  
 ÍNDICES DE CONSUMO ESTRATEGIA DE AHORRO  
 ENERGÉTICO HOSPITALARIO, ENERGÉTICO,  
 SISTEMA TÉRMICO, BALANCE DE ENERGÍA.

## ABSTRACT

This research project executed an initial assessment of the rates of hospital energy consumption  $12.32 \frac{M}{B} / y$  in the electrical system and heating system of the San Vicente de Paul Hospital in the city of Ibarra. They obtained and compared with international standards hospitals with similar characteristics, given the pattern for the proposed optimization. This research focuses on the thermal system, its potential energy manageability. Start with the actual determination of the efficiency of the generation and consequent steam distribution system, this consists of experimental part with the analysis of combustion gases and calculation of energy losses in the generation and distribution of steam. Resulting reality quantified in terms of efficiency, energy management plan is proposed which consists in improving; air-fuel ratio in the combustion boiler, the distribution system by replacement and maintenance of the thermal insulation, leakage and wear items spoiled whereby thermal system performance is improved initial rates improving energy consumption place them on international standards with low investment cost and short-term recovery. Applicable research proposes a mathematical model to analyze the efficiency of any thermal system can be quantified in a hospital. The contribution of the project will establish a comparative basis to measure, evaluate and improve the indices based on the efficiency of the heating system. Finally saving strategies that can be adapted to every need are proposed.

**KEY WORDS:** ENERGY ENERGY SAVING STRATEGY,  
 CONSUMPTION INDEX, ENERGY BALANCE  
 HOSPITAL THERMA SYSTEM,  
 ENERGY EFFICIENCY,

# CAPÍTULO I

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

El hombre durante los dos últimos siglos ha tenido un avance tecnológico impresionante en comparación a toda la historia humana, con la revolución industrial vino el consumo de carbón y el consumo generalizado de fuentes energéticas fósiles y sus medios de transformación poco eficientes, pero todo adelanto conlleva un sacrificio, en este caso el gran afectado es el medio ambiente por la emanación de gases de invernadero causantes del cambio climático a nivel mundial.

Consientes de este hecho, muchos países y continentes, desde años atrás se han dedicado a tratar de remediar este daño provocado por el hombre, entre los cuales se encuentra Europa que está a la vanguardia en el trabajo de reducción del impacto desfavorable del ser humano en el ecosistema y el medio ambiente. Alemania, por ejemplo, es líder mundial en cuanto a la reducción de consumos, gracias a la eficiencia energética, según “*The 2014 International Energy Efficiency Scorecard*”.

En cuanto a Latinoamérica, los países que lideran dicho ranking son: Chile, Perú y Colombia, quienes están trabajando con el desarrollo de políticas en eficiencia energética, que han determinado indicadores de consumo energético dentro de varios sistemas, como el eléctrico, de vapor, de agua, de vacío, etc., buscando la promoción de una cultura en la sociedad sobre este tema.

El Ecuador hoy está inmerso en el cambio de matriz energética coherente con el plan nacional de buen vivir, el cual manifiesta la necesidad de la implementación de un plan de eficiencia energética en todos los ámbitos del



cotidiano vivir, planes como el uso de cocinas de inducción, cambio de focos incandescentes por fluorescentes, etc.

Sin embargo, del estudio de la eficiencia energética, en la industria, edificios públicos o privados, hospitales, no existe una reglamentación ni normativa nacional que garantice la calidad de las instalaciones, los materiales con los que se construye, ni análisis de los consumos que de manera óptima deberían tener las edificaciones, con el objetivo de brindar niveles de confort necesarios, optimizando el uso de los recursos energéticos que el país dispone.

## **1.2 Definición del Problema**

Debido a la época de construcción del edificio, no se consideró el aspecto relacionado con la eficiencia energética, por lo cual actualmente no existen datos claros en cuanto a los consumos energéticos de este establecimiento, no se desarrollan políticas ni programas de aplicación en torno a la eficiencia energética.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Definir problemas y soluciones energéticas que beneficien al hospital San Vicente de Paúl, a los pacientes y al país en general, Proponiendo una opción de gestión energética, para que este proyecto sea sustentable con el tiempo.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer indicadores de consumo diferenciados que permitirán el mejoramiento energético con uso racional de la energía, con el fin último de que se demande cada vez menos energía, reduciendo los costos energéticos del hospital.

- Realizar una sistematización de la información disponible referida a metodologías de medición y evaluaciones existentes, útiles para la determinación del desempeño energético, y su adaptación para ser aplicada.
- Proponer gestiones energéticas al sistema de mayor demanda de eficiencia energética para la disminución del consumo energético.
- Realizar modelos de comportamiento de los sistemas energéticos con mayor consumo de energía.

#### **1.4 Alcance**

Evaluación de la eficiencia energética del sistema térmico San Vicente de Paúl, y su incidencia en el consumo energético por cama, que permita proponer un programa de eficiencia para mejorar los índices de desempeño energético.

#### **1.5 Justificación e Importancia de la Investigación**

Uno de los principales problemas heredados de generaciones anteriores es la cultura del despilfarro de energía por el hecho de la abundancia de los combustibles fósiles, lamentablemente hoy sabemos que esos recursos, que una vez se creyeron infinitos, se están acabando y los expertos afirman que se tiene entre 50 a 60 años de producción de petróleo, además de la gran afectación ambiental causada por los gases de efecto invernadero, por el hecho de que el mundo basa su sistema energético en los combustibles fósiles.

En el Ecuador poco o nada se ha hecho para reducir los consumos energéticos en hospitales y centros de salud, siendo estos de los más grandes consumidores de energía de origen fósil.

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables está impulsando proyectos que fomenten el desarrollo y la cultura de ahorro energético con planes nacionales que son reconocidos y valorados. Pero en el aspecto de eficiencia energética, dispone de un plan de desarrollo deficiente para mitigar el consumo energético, tanto es así, que no presenta resultados ni perspectivas de normalización.

El desarrollo de esta tesis, procura dar los primeros pasos hacia un objetivo que tiene como destino el generar un programa de eficiencia energética dentro del sector hospitalario, utilizando para este caso, recursos e información propios del hospital San Vicente de Paúl, además de la colaboración de entidades nacionales como el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Empresa Eléctrica Azogues EP, y de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC y Ministerio de Salud Pública del Ecuador.

El aporte científico que esta tesis propone está en el conocimiento de los tipos de normativas que pueden plantearse para la realidad nacional, siendo este un estudio muy completo que brindará bases para el desarrollo de planes a nivel nacional; proponiendo dentro de este mismo trabajo, recomendaciones para mejorar los aspectos constructivos y especificaciones que se adapten al entorno de la zona 1 del país

## **CAPITULO II**

### **2 ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA ENERGÉTICO TÉRMICO DEL HOSPITAL**

#### **2.1 Estado del arte del sistema energético de vapor del hospital**

##### **2.1.1 Antecedentes Históricos**

Los hospitales en la Real Audiencia, tuvieron su origen en la intervención Real, Soberano que era informado continuamente, de la pobreza y enfermedades que sufrían los súbditos, en los remotos dominios americanos, antes de la fundación de la Villa de San Miguel de Ibarra en 1606, se habla del Hospital de la Misericordia de Nuestro señor Jesucristo, en 1641 el Hospital recibe los bienes del Capitán Don Francisco López para gastos de los pobres del Hospital según escribe el Sacerdote Navas.

A raíz de la batalla de Ibarra en 1823, las huestes del Coronel Agualongo saquean la Capilla del Hospital, llevándose los utensilios de plata de la misma, las tropas de Agualongo luego fueron derrotadas por el mismo Bolívar en persona, a orillas del Tahuando.

En la madrugada de 1868, Ibarra y sus comarcas fueron destruidas por un terrible terremoto, por la actitud y la fuerza de voluntad del Doctor Gabriel García Moreno, es reconstruida la Ciudad de Ibarra, cuyos habitantes volvieron a sus solares desde los llanos de la Esperanza, el 28 de Abril de 1872 y el Hospital de Ibarra es RECONSTRUIDO bajo los planos del Hermano Benito Aulin, de las escuelas Cristianas, con el nombre de HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL edificio que se encuentra hasta la actualidad en las calles Juan Montalvo y Salinas, fue considerado en su época como uno de los mejores de América.

En el año 1979, se comienza a conversar del nuevo edificio del Hospital, entre los legisladores y autoridades del Hospital de esa época. Después de largas deliberaciones y entrevistas con el Ministro de Salud y el Presidente de la República, se le entrega la construcción y equipamiento a una firma Italiana, los terrenos son expropiados a la Señora Rosa Gómez de la Torres y se coloca la primera piedra el 23 de enero de 1981, después de 10 años de intenso trabajo, el 23 de abril de 1991 es inaugurado en la Presidencia del Doctor Rodrigo Borja y nombrado director del Hospital, el Doctor José Albuja. (Ministerio de Salud Pública, s.f.)

### **2.1.2 Características Geográficas, Demográficas, Sociales y Culturales**

El Ecuador se encuentra situado en la costa noroccidental de América del Sur, con una extensión territorial de 256.370 Km<sup>2</sup> de superficie, siendo su capital Quito.

La Provincia de Imbabura, se encuentra en el centro-septentrional del país, es una de las diez que forma la región de la Sierra y tiene una superficie de 4.559 km<sup>2</sup>. Limita al norte con el Carchi por medio del río Mira, al oeste con Esmeraldas, al este con Sucumbíos y al sur Pichincha, de la que le separa el cauce del río Guayllabamba. La zona occidental es una sucesión de hasta siete alineaciones de montañas que se cierran al este con las alturas de Yana Urco (4.537 m) y Cotacachi (4.937 m).

El centro y el este están ocupados por depresiones cerradas al este por nuevas elevaciones. Entre estas destaca la hoya del río Chota, afluente del río Mira, que forma parte del surco interandino. Algunas de las zonas más bajas y cerradas de estas depresiones dan lugar a lagunas de las que esta provincia tiene especial profusión: Yahuarcocha, en el noreste de Ibarra; San Pablo que es de unos 4 km<sup>2</sup> de superficie y Cuicocha que se encuentra en el Cantón Cotacachi.

Las mayores elevaciones corresponden a volcanes, como es el caso del Volcán Imbabura que da nombre a la provincia (4.630 m), situado frente a la hoya del río Chota y al que se le conoce por sus extensas coladas de barro.

El clima de la provincia de Imbabura es diverso: tropical en valles, páramos fríos que sostienen la ganadería, tierras templadas que permiten cultivos de cereales como cebada, trigo, maíz, además de patata, y explotación forestal; tierras más cálidas que se dedican al café, caña y frutales.

El Hospital San Vicente de Paúl se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia El Sagrario entre las calles Vargas Torres y Avenida Jaime Rivadeneira.

## VISIÓN

“El Hospital San Vicente de Paúl en cinco años será una institución líder en la prestación de servicios de salud del norte del país, brindará atención de calidad con acceso universal, equidad y calidez, contará con tecnología de punta, personal motivado y altamente capacitado, convirtiéndose en la institución de salud más valorada por la comunidad y que rinda cuentas de su gestión”

## MISIÓN

El hospital San Vicente de Paúl tiene por misión ofertar los servicios de salud de II nivel con enfoque integral a los usuarios y cumpliendo con su rol con el sistema nacional de salud capacitando al recurso humano, fortaleciendo la docencia e investigación como aporte a mejorar la salud de la población de su área de influencia.

## VALORES Y PRINCIPIOS INSTITUCIONALES

- Servicio
- Puntualidad
- Ética
- Solidaridad
- Honestidad

**SERVICIO:** Nuestro principio fundamental es el servicio con calidez, orientado a satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros usuarios.

**PUNTUALIDAD:** Seremos un ejemplo en el cumplimiento de tiempos y plazos previamente establecidos y acordados.

**ÉTICA:** Tenemos un alto sentido de respeto por las normas y seremos íntegros en nuestras acciones.

**SOLIDARIDAD:** Preocuparnos por el bienestar de los demás es parte de nuestra responsabilidad, extender la mano y brindar apoyo a quien lo necesita será nuestra mayor satisfacción.

**HONESTIDAD:** La integridad y transparencia de todos quienes conformamos el hospital es nuestra mejor presentación en la comunidad.

## OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

- Adecuar la oferta asistencial a las necesidades de la población
- Producir una descentralización de la gestión
- Disminuir la espera en CC.EE
- Dar atención de calidad en emergencia
- Flexibilizar el modelo de gestión de RR.HH
- Fortalecer el modelo de gestión ante la incertidumbre del entorno
- Implicar los profesionales con la organización

- Impulsar el nivel científico del Hospital
- Aumentar la autonomía de gestión para el Hospital
- Mejorar la motivación del personal
- Optimizar la utilización de los recursos
- Mejorar la orientación al usuario
- Potenciar el Hospital como referente regional
- Prestigiar la imagen del Hospital.

### **2.1.3 Organización administrativa**

El Hospital “San Vicente de Paúl” mantiene un tipo administración tradicional, es decir, de tipo burocrático, rígido, inflexible y concentrado donde la autoridad solo delega funciones basándose en organigramas estructurales.

Por la inestabilidad política del país se cambia con frecuencia a ministros, directores provinciales de salud y directores de hospitales, en desmedro de los intereses institucionales, prevaleciendo intereses políticos.

Los directivos al carecer de estabilidad laboral no provocan que se realicen proyectos a largo plazo; la toma de decisiones se las realiza sin enfoque ni dirección gerencial, deteriorándose los principios de respeto y credibilidad hacia la institución.

La organización administrativa se encuentra liderada en el organigrama de la institución, por Gestión Estratégica representada por la Directora de Hospital quien está reconocido legalmente para asumir sus funciones en la actualidad ejerce la Dra. Yolanda Checa

Actualmente el Hospital San Vicente de Paúl está entrando en un proceso de transición entre el antiguo orgánico funcional y la nueva “Estructura Organizacional Por Procesos”, mediante la Resolución de la Secretaría Nacional Técnica de Desarrollo de los recursos Humanos y de Remuneraciones – SENRES – (ex OSCIDI), ente Rector del desarrollo



organizacional y de los recursos humanos (Art. 55 de la Ley de Servicio Civil) ha dispuesto desde el año 2000, la política gubernamental de estructuración por procesos en todos los Ministerios y entidades autónomas de la Administración Pública. El objetivo fundamental de la propuesta de “Sistema De Gestión De Calidad Por Procesos” es garantizar la calidad de la producción institucional, mejorando la relación de tiempos y costos.

### **Macro procesos gobernantes**

Proceso Gestión Estratégica

Proceso Gestión Técnica

### **Macro procesos habilitantes de asesoría**

Proceso Aseguramiento de la Calidad de Gestión

### **Macro procesos habilitantes de apoyo**

Proceso Gestión de Recursos Humanos

Proceso Gestión de Servicios Institucionales

### **Subproceso Bodega**

### **Subproceso Proveeduría**

Proceso Gestión de Comunicación, Informática, Hotelería

Proceso Gestión de Farmacia

Proceso Gestión de Enfermería

Proceso Gestión Financiera, Presupuesto, Contabilidad

**Subproceso Administración de Caja**

**Macro proceso de valor agregado**

Proceso Calificación de Demanda y Oferta Hospital

Proceso Operativización de Normas en la Gestión

**Subproceso Emergencia**

**Subproceso Consulta Externa**

**Subproceso Hospitalización Medicina Interna**

**Subproceso Hospitalización Pediatría**

**Subproceso Hospitalización Cirugía**

**Subproceso Hospitalización Gineco Obstetricia**

**Subproceso Centro Quirúrgico**

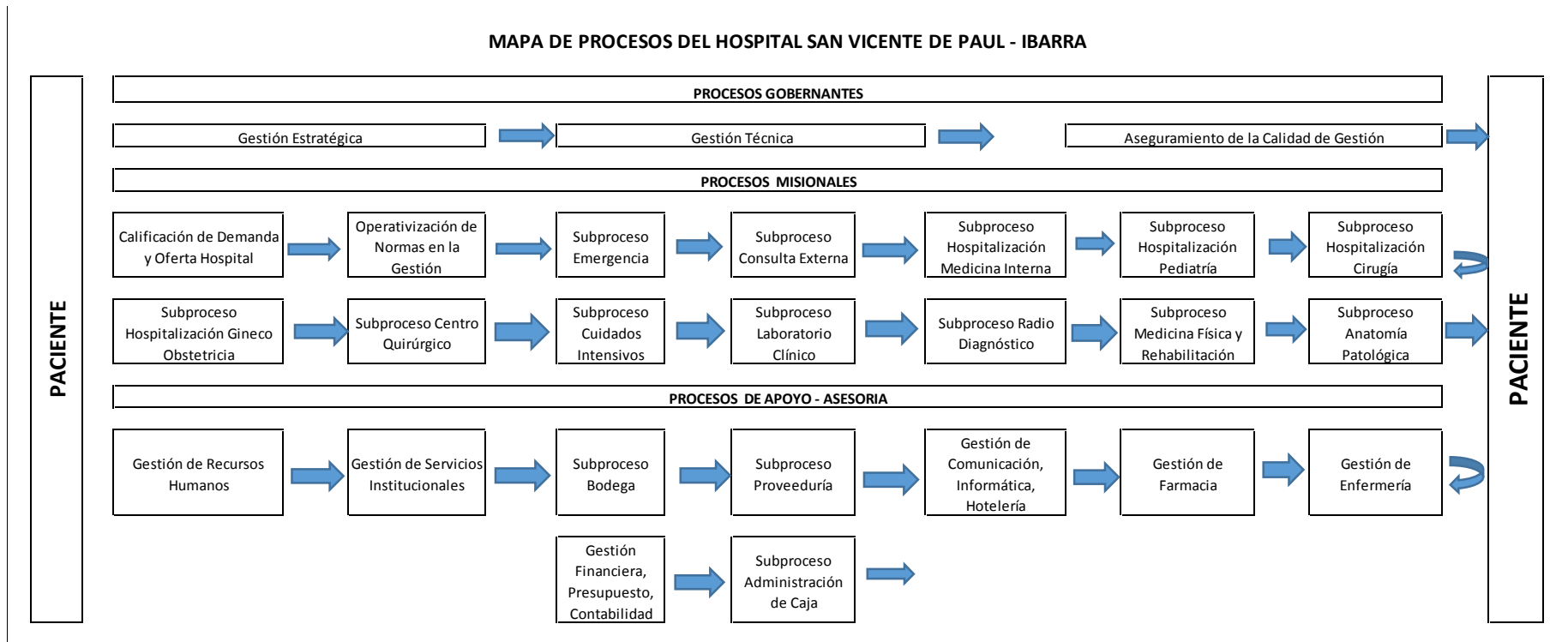
**Subproceso Cuidados Intensivos**

**Subproceso Laboratorio Clínico**

**Subproceso Radio Diagnóstico**

**Subproceso Medicina Física y Rehabilitación**

**Subproceso Anatomía Patológica**



**Figura 1: Mapa de Procesos**

## RECURSOS HUMANOS DEL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL

**Cuadro 1:**

### Recursos Humanos

RECURSOS HUMANOS	NÚMERO
- Código de Trabajo	190
- Ley de Servicio C. y Carrera A.	269
<b>TOTAL</b>	<b>459</b>

Fuente: Gestión de Recursos Humano

### 2.1.4 Servicios brindados

**Cuadro 2:**

### Servicios que brinda

PISO	SERVICIO
PLANTA BAJA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EMERGENCIA</li> <li>• SOAT-SECRETARIA</li> <li>• CONSULTA EXTERNA</li> <li>• ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE GESTIÓN</li> <li>• CALIFICACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA HOSPITALARIA</li> <li>• LABORATORIO CLÍNICO</li> <li>• RADIO DIAGNÓSTICO</li> <li>• MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACIÓN</li> <li>• GESTIÓN HOTELERA (DIETÉTICA NUTRICIÓN)</li> <li>• GESTIÓN DE SERVICIOS INSTITUCIONALES</li> <li>• GESTIÓN HOTELERA (LIMPIEZA - COSTURA)</li> <li>• ODONTOLOGÍA</li> <li>• OTORRINOLARINGOLOGÍA</li> <li>• GESTIÓN DE FARMACIA</li> <li>• INVENTARIOS</li> <li>• INFORMACIÓN</li> </ul>
PRIMER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GESTIÓN TÉCNICA HOSPITALARIA</li> <li>• GESTIÓN ESTRATÉGICA HOSPITALARIA</li> <li>• GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS</li> <li>• GESTIÓN INFORMÁTICA</li> <li>• GESTIÓN FINANCIERA</li> <li>• COORDINADORA DE ENFERMERÍA</li> <li>• CENTRO QUIRÚRGICO</li> <li>• CENTRAL DE ESTERILIZACIÓN</li> <li>• UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS</li> </ul>
SEGUNDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SERVICIO DE GINECOLOGÍA</li> <li>• CENTRO OBSTÉTRICO</li> <li>• UNIDAD DE NEONATOLOGÍA</li> </ul>
TERCER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIRUGÍA</li> <li>• TRAUMATOLOGÍA</li> </ul>
CUARTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MEDICINA INTERNA</li> <li>• SALUD PUBLICA- EPIDEMIOLOGÍA</li> <li>• EDUCADORA PARA LA SALUD</li> <li>• UNIDAD DE DOCENCIA- COMUNICACIÓN SOCIAL</li> <li>• ENDOSCOPIA</li> </ul>
QUINTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEDIATRÍA</li> <li>• AUDITORIO</li> <li>• CASA DE ASCENSORES</li> </ul>

#### OTRAS ÁREAS DEL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL

MANTENIMIENTO  
CASA DE MÁQUINAS  
GUARDIANÍA  
BAR  
MORGUE

### 2.1.5 Datos estadísticos de cobertura

El Hospital San Vicente de Paúl, es el hospital con mayor número de atenciones en la provincia, presta atención médica a personas de toda condición socio-económica, desde el primero al quinto quintil de pobreza, según informe de la provincia de Imbabura (Endermain 2009.)

En los últimos 5 años la prestación de servicios de salud de parte del hospital se ha incrementado, es así como de 7.542 altas hospitalarias realizadas en el año 2009, se ha incrementado en 15% respecto al año 2010, en el cual se dieron 8858 altas. En el año 2011 hubo un ligera disminución de hospitalizaciones en el 2.6%, para incrementarse en el año 2012 (2.75%) y en el 2013 (8.16%) siendo significativo el incremento en el último año.

#### Cuadro 3:

#### Hospitalización 2009 – 2013

INDICADORES DE HOSPITALIZACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Altas</i>	7542	8858	8635	8880	9669
<i>Defunciones</i>	173	191	141	151	137
<i>(-48h)</i>	81	82	72	56	67
<i>(+48h)</i>	92	109	69	95	70
<i>Egresos</i>	7715	9049	8776	9031	9806
<i>Giro de camas</i>	52,1	60,0	59,4	60,7	65,1
<i>Porcentaje de ocupación</i>	66,7	73	70	69,9	74,8
<i>Estadía</i>	3,5	3,3	3,2	3,1	3,1
<i>Partos</i>	3030	3405	3396	3545	3701
<i>Cesáreas</i>	529	534	676	730	732
<i>Porcentaje de cesáreas</i>	17,5	15,7	19,9	20,6	19,78

### 2.1.6 Normativa energética para hospitales

Consumos de energía en Hospitales.

En los hospitales a nivel mundial la energía que se produce para sus distintos sistemas es a partir de:

- Combustibles fósiles
- Energía eléctrica

Combustibles fósiles.

Son fuentes de energía que se encuentran en la Tierra hace millones de años. Su formación se produce del proceso natural de descomposición anaeróbica de organismos muertos y enterrados.

Las plantas y animales prehistóricos que habitaron en el planeta hace cientos de millones de años, en un clima cálido y acompañados de organismos unicelulares oceánicos, llamados protoplancton. Cuando murieron estos seres vivos, sus cuerpos se descompusieron, quedando enterrados bajo capas de lodo, arena y roca. Luego de varios años, la exposición a temperatura elevadas y la presión de la corteza terrestre ayudaron a la formación de combustible fósil.

Existen tres tipos primordiales de combustibles fósiles:

**Carbón.-** Es el primer combustible fósil que se utilizó. Se adquiere por medio de la minería de superficie o de profundidad.

**Petróleo.-** Es una mezcla de hidrocarburos, oxígeno y azufre. Es un combustible líquido donde incluye a todos los combustibles fósiles de hidrocarburos líquidos y puede referirse al crudo o a los productos derivados hechos del petróleo.

**Gas natural.-** Es una mezcla incolora de gases de hidrocarburos compuesta de metano; es el último combustible fósil que se encontró como fuente de energía.

#### Combustible utilizado en hospitales

El combustible más utilizado en los hospitales nacionales es Diesel N° 2 derivado del petróleo. Los equipos que utilizan esta clase de combustibles son:

- Calderos,
- Marmitas,
- Incineradores,
- Grupo electrógeno,
- Auto clave.
- Agua Caliente Sanitaria (ACS)

#### ENERGÍA ELÉCTRICA.

Se forma por el movimiento de las cargas eléctricas en el interior de materiales conductores. Cada vez que se oprime un interruptor de la luminaria, se cierra un circuito eléctrico y se produce el movimiento de electrones a través de cables. Para que ocurra este transporte y se pueda encender una bombilla, es obligatorio un generador o una pila que impulse el movimiento de los electrones en un sentido dado.

La fuente de energía eléctrica en nuestro país es la hidroeléctrica, que produce electricidad gracias a la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía de esas corrientes de agua puede utilizarse para la producción de energía eléctrica.

En el hospital la fuente de energía más importante es la eléctrica donde se utiliza diferentes sistemas para su funcionamiento:

- Motores eléctricos (electro bombas, ascensores, compresoras, ventiladores, extractores, lavadoras, secadoras, calandrias, entre otros).
- Lámparas de iluminación (fluorescentes, incandescentes, de descarga, etc.)
- Calentadores de agua (termas, duchas, hervidores)
- Hornos eléctricos
- Cocinas eléctricas
- Equipos de frío (conservadoras, refrigeradoras)
- Esterilizadores
- Equipos electro médicos (rayos X, tomógrafos)

## **2.2 Eficiencia Energética**

La actual crisis de recursos energéticos obliga a reducir la dependencia de combustibles de origen fósil o nuclear, y garantizar el uso adecuado de los recursos empleados. La eficiencia energética respecto del consumo de una determinada cantidad de recursos supone cubrir una necesidad específica invirtiendo la mínima cantidad de los mismos para lograrlo (López, 2006).

Aplicándolo al caso de la edificación, se considera que un edificio es más eficiente energéticamente que otro si consume menos energía primaria exterior, es decir, la que no ha sido generada por él mismo a partir de fuentes renovables. El nivel de eficiencia energética que tiene un edificio se basa en los siguientes factores: (Montero, et al, 2010)

Las soluciones arquitectónicas pasivas.

El rendimiento de los equipos de producción de energía del edificio.



El aprovechamiento de las energías renovables cuya incorporación es posible en el edificio.

En el caso de los edificios hospitalarios evidentemente no se puede considerar eficiencia energética si se sacrifica el confort de pacientes y/o personal.

### **2.2.1 Estado del arte de la situación energética en el Hospital San Vicente de Paúl**

La eficiencia energética en un hospital está enfocada en dos puntos muy importantes: la arquitectura que influye en el sistema de climatización donde se debe realizar hospitales teniendo en cuenta las acciones de bioclimatismo, en el sistema eléctrico en la iluminación ya que si este cuenta con una buena ubicación no se necesitara iluminación artificial y en el sistema de vapor y condensado ya que debe poder evacuar las temperaturas altas y los vapores que se generan. Otro punto es la gestión hospitalaria, donde se debe controlar y manejar los sistemas de una manera óptima.

Al realizar un análisis de eficiencia energética en el hospital San Vicente de Paúl, se necesita comparar los índices de consumo energético con hospitales de las mismas características. Lamentablemente no se puede realizar dicha comparación con hospitales del país ya que no se cuenta con estudios relacionados a eficiencia energética en hospitales.

La comparación en cuanto a los índices energéticos que se desea obtener estará relacionada con hospitales de Chile, ya que en dicho país se cuenta con estudios energéticos de sus diferentes hospitales, en donde desde hace más de una década se viene realizando esfuerzos por mejorar el consumo de energía en los diferentes sistemas energéticos: eléctrico, térmico, agua caliente y calefacción donde ya se tienen estudios detallados.

En Chile se clasifica los hospitales según la capacidad que estos tienen y el número de habitantes de la ciudad donde se ubica el hospital:

**Cuadro 4:**

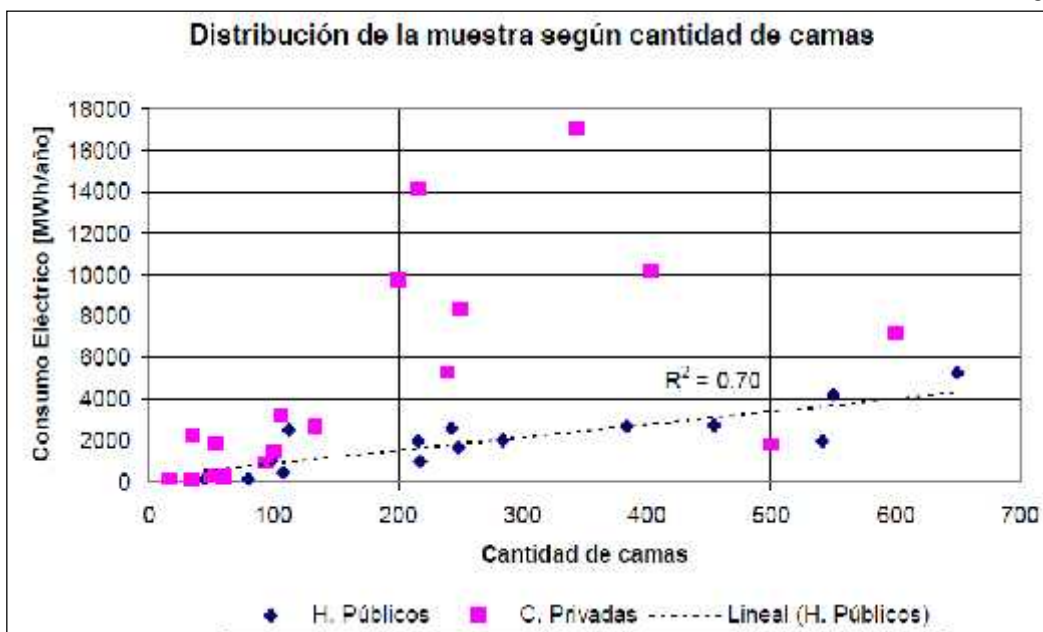
**Clasificación de hospitales Chile**

<b>TIPO</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>	<b>NÚMERO PROMEDIO DE CAMAS</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>HOSPITAL TIPO I</b>	Más de 500.000	500	Ciudades Cabeceras de Servicios de Salud	Alta complejidad Totalidad de especialidades médicas
<b>HOSPITAL TIPO II</b>	Más de 100.000	Menos de 400	Ciudad Cabeceras como Soporte	Mediana complejidad Especialidades más simples
<b>HOSPITAL TIPO III</b>	Hasta 50.000	Menos de 200	Ciudades Urbanas y Rurales	Menor complejidad
<b>HOSPITAL TIPO IV</b>	Más de 10.000	Menos de 100	Poblaciones Rurales	Urgencias médicas

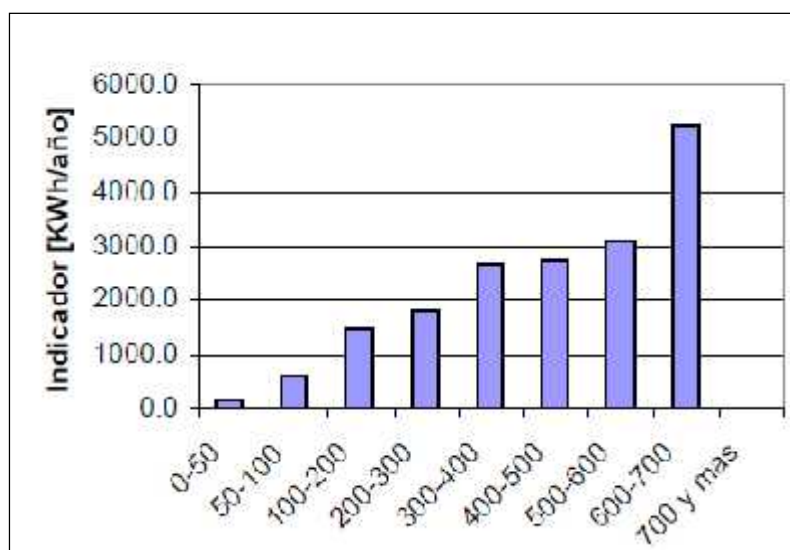
**Fuente:** (Sepúlveda, 2008)

Según el cuadro 5, se puede realizar una comparación de los índices energéticos con el Hospital tipo III, que tienen similares características del hospital en estudio.

Los hospitales chilenos que se encuentran en este grupo cuentan con los siguientes consumos energéticos, tomando en cuenta los consumos en el periodo de septiembre del 2006 a septiembre del 2007:



**Figura 2: Distribución de la muestra según cantidad de camas para consumo eléctrico.**  
**Fuente.** (Sepúlveda, 2008)



**Figura 3: Consumo eléctrico promedio anual según cantidad de camas.**  
**Fuente.** (Sepúlveda, 2008)

Tomando en cuenta los índices de consumo de los Hospitales de Chile, como se muestra en las figuras 2 y 3, se puede obtener parámetros para realizar las comparaciones entre hospitales, tomando en cuenta que el hospital San Vicente de Paul cuenta con 200 camas en promedio que se utiliza, se obtuvo que los hospitales chilenos consumen energía eléctrica en

el orden de 170 a 1000 (MWh/ año), tomando en cuenta que estos hospitales cuentan con sistemas de climatización de toda la edificación debido a su situación geográfica y la presencia de las 4 estaciones; hay que considerar que el hospital en estudio no cuenta con este sistema con excepción de los quirófanos y terapia, lo que se verá reflejado en una disminución de consumo de energía eléctrica.

### 2.2.2 Determinación de la Matriz Energética

El hospital San Vicente de Paul, necesita de electricidad y Diésel para su correcto funcionamiento, y poder brindar los servicios hospitalarios requeridos por las personas. Los índices energéticos alcanzados en el año 2013 fueron:

#### Cuadro 5:

#### Consumo energético Hospital San Vicente de Paul

ENERGÍA	CONSUMO	CONSUMO TOTAL (GJ)
Energía eléctrica	878280 KWh/ año	37944
Diésel	72000 galones/ año	117288

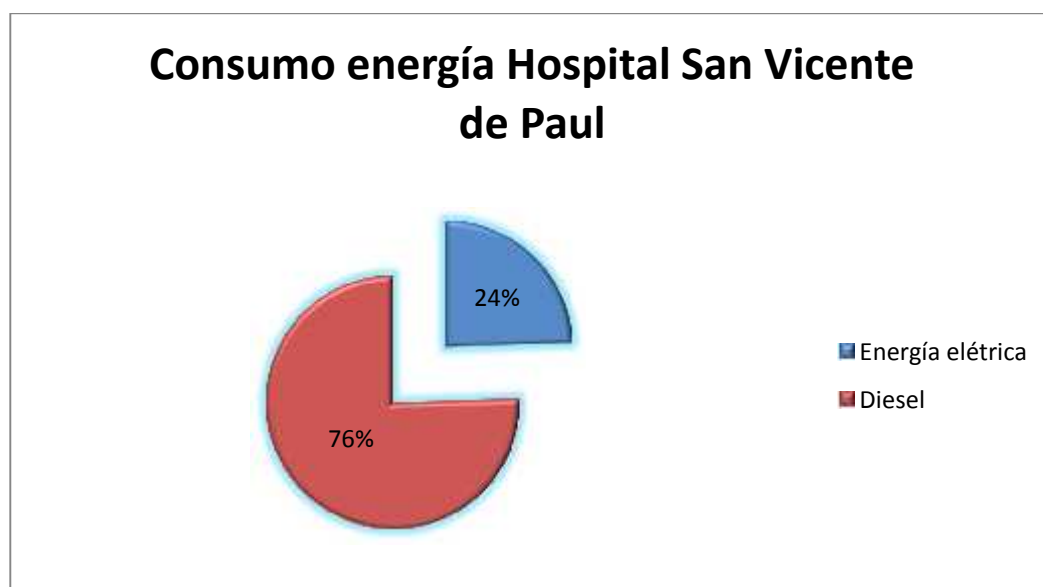


Figura 4: Índices energéticos año 2013

Como se puede analizar la figura 3, en el Hospital el combustible fósil diésel II, tiene un mayor grado de consumo energético con el 76%, la energía eléctrica consume el 24% de la energía.

Considerando los costos de energía del año 2013 se obtiene los siguientes datos:

El costo de la energía eléctrica es 0,0767 USD/KWh

$$878280 \frac{K h}{año} \times 0,0767 U = 67364 U$$

El costo del diésel II por galón es 0,9187 USD/galón

$$72000 \frac{G}{año} \times 0,9187 \frac{U}{G} = 66146 U$$

#### Cuadro 6:

##### Análisis económico de los recursos

ENERGÍA	CONSUMO	CONSUMO TOTAL (USD)
Energía eléctrica	878280 KWh/año	67346
Diesel	72000 galones/año	66146

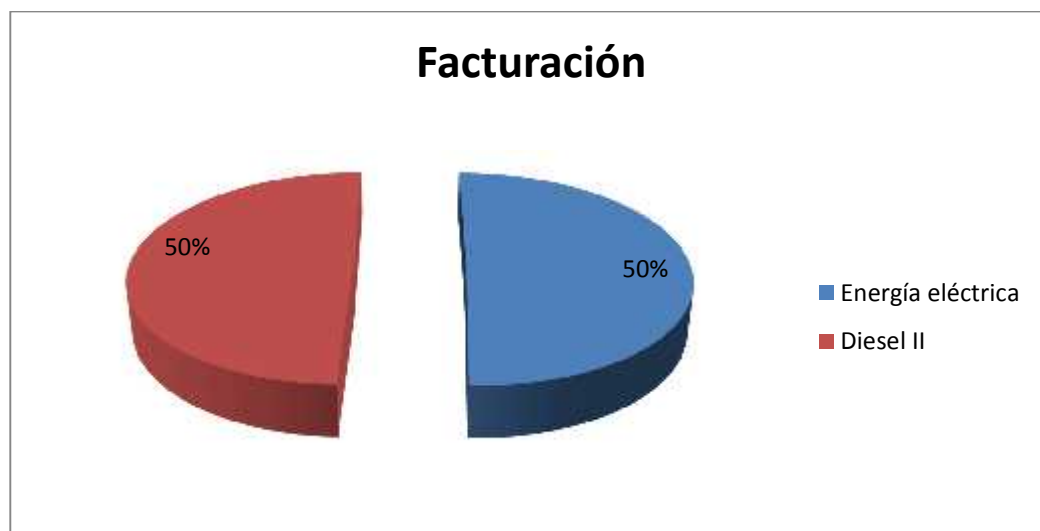


Figura 5: Análisis económico consumo energético HSVP

Como se puede observar en la figura 1.4, la facturación de las dos fuentes de energía es el 50% cada uno, se debe tomar en cuenta que el diésel II abarco con el 76% de consumo energético, lo cual indica que es de vital importancia realizar una propuesta de eficiencia energética en el sistema de vapor para disminuir la facturación del mismo. Cabe recalcar que el precio real del diésel no es el indicado ya que en nuestro país existe un subsidio a los hidrocarburos, lo cual hace que comprar los consumos energéticos en cuanto a valores económicos sea bastante subjetivo.

### **2.2.3 Identificación del sistema**

El vapor es el fluido de trabajo para las áreas de LAVANDERÍA, COCINA, CENTRAL DE ESTERILIZACIÓN, CALENTAMIENTO DE AGUA. Se tiene un consumo promedio de 6000 galones de diésel II tipo industrial, este valor se ha registrado de planillas de adquisición de combustible puesto que no existe un sistema de medición de consumo diario con instrumentación. En una evaluación actual del sistema se determinan muchas fugas de vapor por la obsolescencia de la tubería y sus accesorios, deficiente sistema de recuperación de condensado, no existe sistema de cogeneración, el calor de combustión residual es expulsado hacia el ambiente por la chimenea de gases lo que se traduce en grandes pérdidas energéticas, se observa también pérdidas de calor por falta de aislante térmico en tuberías. Con los datos que disponen se ha calculado un índice de consumo de energía térmica de 12.32 MWh/cama/año con los ineficiencias que se han descrito se podría reducir este consumo hasta estándares internacionales de entre 4-6 MWh/cama/año. Hay que considerar también que los elementos de consumo del Hospital San Vicente de Paul son pocos y se han sustituido las autoclaves de vapor por autoclaves de generación eléctrica para la obtención de vapor.

Cálculo de índice de consumo térmico.- Cálculo de índice de consumo térmico.-

- Eficiencia medida del caldero a través del método de análisis de gases de combustión= 77.6%.

- Consumo mensual promedio=6000 galones.

- Poder calorífico del diésel II:  $P = 43.10 \frac{M}{K}$

- Densidad del diésel II:  $\rho = 832 \frac{K}{m^3}$

$$e = \frac{Q_v}{Q_{cc}}$$

[Ecuación 1]

En donde:

$$e = \frac{Q_v}{Q_{cc}} = \frac{C \cdot d \cdot v \cdot g}{C \cdot d \cdot cc \cdot c \cdot st} \cdot \frac{ón}{g}$$

$$Q_{cc} = m$$

[Ecuación 2]

En donde:

$m$ =masa de combustible

$PC$ =Poder calorífico del combustible

$$m = \rho * V$$

[Ecuación 3]

En donde:

$\rho$  = densidad del combustible

$V$  = volumen de combustible

Conversión de unidades: 1 gal = 0.00378 m<sup>3</sup>.

Consumo anual: 6000 gal/mes x 12 meses = 72000 gal/mes  
= 272.16 m<sup>3</sup>/año

$$m = \rho * V = 832 \frac{K}{m^3} * 272.16 \frac{m^3}{año} = 226437.12 \frac{K}{año}$$

De la ecuación 2.2

$$Q_{cc} = 226437.12 \frac{K}{año} * 43.10 \frac{M}{K} = 9759439,87 \frac{M}{año}$$

De la ecuación 2.1

$$Q_v = \epsilon Q_{cc}$$

$$Q_v = 0.77 * 9759439,87 \frac{M}{año} = 7514768,70 \frac{M}{año}$$

Conversión de unidades: 1 kWh = 3.6 MJ

$$Q_v = 2087435,75 \frac{K h}{año} = 2087.43 \frac{M h}{año}$$



220 camas con porcentaje de ocupación del 77%

$$E_T = \frac{Q_v}{N \cdot cc \cdot \%o \cdot ón}$$

[Ecuación 4]



Por tanto energía térmica:

$$E_T = 12.32 \frac{M \cdot h}{cc} / \text{año}$$



## LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR.-

### Cuadro 7:



#### Sistema Generación de Vapor

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DÍA	OBSERVACIONES	
1	Caldera de vapor	Tipo: Piro tubular. Pasos: 2 Potencia nominal: 125BHP Marca: SEVESO Italia. P.Máx. Trabajo: 12bar Combustible: Diesel II industrial Produccion media diaria de Vapor:830kg/h	Bueno	11	Tiempo operación: 32 años. Estado de los tubos de fuego bueno. Recibe mantenimiento preventivo semestral sin prueba de gases de combustión, tratamiento de agua de ingreso.	
1	Caldera de vapor	Tipo: Piro tubular. Pasos: 2 Potencia nominal: 100BHP Marca: YORK SHIPLEY Estados Unidos. P.Máx. Trabajo: 12bar Combustible: Diesel II industrial Producción media diaria de Vapor: 830 kg/h	Bueno	11	Tiempo operación: 10 años. Estado de los tubos de fuego bueno. Recibe mantenimiento preventivo semestral sin prueba de gases de combustión, tratamiento de agua de ingreso.	

CONTINUA...

2	Bombas de alimentación de agua a calderas	<p>Tipo: centrífugas.  Potencia eléctrica: 5HP.  Marca: Hidromac  Modelo: I5T.  Caudal máx. 150 GPM.  RPM: 1750</p>	Bueno	3	<p>Tiempo de operación: 2 y 5 años. Funcionan un promedio de 50 minutos por día.  Mantenimiento preventivo semestral</p>	
1	Bomba alimentación de combustible a quemadores	<p>Tipo: centrifuga.  Potencia: 0.75 HP.  Marca: Tuthill.  Modelo: 201 ENV-0  Caudal: 9.5 gal/min  RPM: 1700</p>	Bueno	1	<p>Tiempo de operación: 6 años  Bomba de alimentación de tanques de almacenamiento de combustible a tanque de consumo diario y distribución por gravedad.</p>	



**Cuadro 8:**  
**Elementos de Distribución**

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DIA	OBSERVACIONES	
2	Banco reductor de presión casa de máquinas.	Reducción de presión de 10 0.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Bueno		Elementos: válvulas de paso, válvula reductora de presión, filtro y manómetro, válvula de seguridad. Tiempo de operación: 32 años cambio de aislamiento 2años	
1	Red de tubería	La tubería de vapor de la red es de acero negro sin costura y de cédula 40 la tubería es soldada y consta del respectivo aislamiento térmico, así como los soportes respectivos.	Regular: existen tramos sin aislamiento térmico.		Tubería de alimentación y condensado de ½", ¾", 1", 1.5 ", 2", 3" en líneas de alimentación con respectivos elementos: válvulas de paso, by pass, etc. Tiempo de operación 32 años.	

### 2.2.3.1 Elementos Recuperación de Condensado

#### Cuadro 9:



#### Elementos Recuperación

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DÍA	OBSERVACIONES	
1	Red de tubería de recuperación de condensado.	Tubería de acero negro sin costura y de cédula 40. La tubería es soldada+ y consta del respectivo aislamiento térmico y soportes.	Regular: existen tramos sin aislamiento térmico. Existen trampas de vapor pésimo funcionamiento, fugas de condensado		Tiempo operación: 32 años. Se han sustituido trampas de vapor de balde invertido por trampas hidrodinámicas. Se evidencia	
1	Tanque de condensado	Capacidad: 8m <sup>3</sup> Temperatura promedio de agua caliente: 85°C.	buena		Tiempo de operación: 7 años.	




### 2.2.3.2 Elementos de Consumo

**Cuadro 10:**




**Elementos de Consumo**

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DIA	OBSERVACIONES	
3	Lavadora extractora de ropa	Marca: DFRANCHESCHI Cap.max: 100KG. V: 220 Consumo vapor: 100Kg/h.	Regular	8am-4pm en ciclos de 40 min llegando a duración de 2 horas	Tiempo operación: 32 años. Se evidencia elementos de vapor como trampas y llaves en mal estado, falta de aislamiento térmico. Consumo diario de vapor= 200 Kg/dia	
1	Lavadora de ropa	Marca: DFRANCHESCHI. Tipo: 1697 Cap.max: 100Kg. V:220 Consumo vapor: 50 Kg/h	Regular	8am-4pm en ciclos de 40 min llegando a duracion de 2horas	Tiempo operación: 32 años. Se evidencia elementos de vapor como trampas y llaves en mal estado, falta de aislamiento térmico. Consumo diario de vapor=100 Kg/dia	

CONTINUA...




1	Lavadora extractora	<p>Marca: MILNOR          Modelo: 30022M56          Cap. 50kg.          V: 220V.          Consumo vapor: 50Kg/h</p>	Regular	<p>8am-4pm en          ciclos de 40 min          llegando a          duracion de          2horas</p>	<p>Tiempo operación: 15 años. Se evidencia fugas de vapor en el serpentín, trampas de vapor y válvulas en mal estado.          Consumo diario de vapor=100Kg/dia</p>	
2	Secadora de ropa	<p>Marca: Lavital.          Modelo:          Capacidad: 34 Kg          Consumo vapor: 60 Kg/h</p>	Bueno	<p>8am-4pm en          ciclos de 40 min          llegando a          duracion de          2horas</p>	<p>Tiempo de operación: 7 años.          Equipo en muy buen estado.          Consumo diario de vapor= 120 Kg/dia.</p>	
2	Secadora de ropa	<p>Marca: UNIMAQ.          Modelo:          Capacidad: 35 Kg.          Consumo vapor: 50 Kg/h.</p>	Bueno	<p>8am-4pm en          ciclos de 40 min          llegando a          duracion de          2horas</p>	<p>Tiempo de operación: 20 años.          Accesorios y trampas en buen estado, falta aislamiento térmico.          Consumo diario de vapor= 100Kg/dia.</p>	

CONTINUA...

1	Planchadora de rodillos	Marca: CHICAGO Modelo: Consumo vapor: 150 kg/h	Bueno	2h/día	Tiempo de operación: 4 años. Accesorios y trampas en buen estado. Consumo diario de vapor= 290Kg/día	
3	Marmitas de vapor central	Marca: VULCAN. Consumo: 20Kg/h.	Bueno	9h/día	Tiempo de operación: 15 años. Tuberías, accesorios y aislantes en mal estado. Presencia de grandes fugas de vapor. Consumo diario de vapor= 180 Kg/día	
1	Marmita de vapor	Marca: VULCAN. Consumo: 40Kg/h.	Regular	9h/día	Tiempo de operación: 15 años. Tuberías, accesorios y aislantes en mal estado. Presencia de grandes fugas de vapor. Consumo diario de vapor= 280 Kg/día	

CONTINUA...



1	Marmita de vapor	Marca: VULCAN. Consumo: 60Kg/h	bueno	9h/dia	Tiempo de operación: 15años. Línea de vapor y retorno de condensado en muy mal estado falta aislamiento térmico. Consumo diario de vapor= 640 Kg/dia.	
1	Marmita de vapor	Marca: VULCAN. Consumo: 100Kg/h	bueno	9h/dia	Tiempo de operación: 15 años. Línea de vapor y retorno de condensado en muy mal estado falta aislamiento térmico. Consumo diario de vapor= 900 Kg/dia.	
1	Tanque de agua caliente.	Calentamiento: vapor Capacidad: 3000 l Área: 2.6m <sup>2</sup> . Presión: 6 Kg/cm <sup>2</sup> Temp.agua: 83°C. Consumo: 100 Kg/h	Bueno	5h/dia	Tiempo operación: 3 años. Cada 9 años se cambiara el serpentín del intercambiador de calor. Consumo diario de vapor= 500Kg/dia.	

De acuerdo a los consumos registrados en cada uno de los elementos se tiene un requerimiento diario= 5280 Kg vapor.

### **Cálculo de la energía necesaria para generar esta cantidad de vapor:**

1. Cálculo del Q necesario para llevar 5280Kg de agua hasta el punto de ebullición a 1 bar de presión. El tanque de condensado generalmente presenta una temperatura de 85°C. (Incropera, 1996)

$$Q = m * C * \Delta T$$

[Ecuación 1]

Donde:

Q= Cantidad de calor

m= masa

Cp= Capacidad calorífica a específica a presión constante

T= Variación de Temperatura

$$Q = 5280K * \frac{4.2K}{K} * (92 - 85)K = 155M$$

2. Al llevar el agua a vapor a 4 bar de presión (Presión en la que está operando normalmente el caldero).

De tablas termodinámicas con presión P=4bar. (Cengel, 2009)

$$T=143.6 \quad \Delta h_v = 2738.6 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q = m * \Delta h_v$$

Donde:

Q= Cantidad de calor

m= Masa de agua

h<sub>v</sub>=Variación de entalpía del vapor

$$Q = m * \Delta h_v = 5280 * 2738.6 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} = 14459.8 \text{ MJ}$$

$$Q = Q + Q$$

$$Q = 155M + 14459.8M = 14614.80M$$

*Energía total requerida para cubrir demanda.*

Cálculo de la masa de combustible necesaria para generar esta energía:

$$e = \frac{Q}{Q}$$

[Ecuación 2]

Donde:

e= Eficiencia de la combustión

Q<sub>vapor</sub>= Calor del Vapor

Q<sub>combustible</sub>= Calor del combustible

De la ecuación nn

$$Q = \frac{Q}{Q} = \frac{14614.80}{0.77} = 18980.27M$$

$$Q = m * P$$

[Ecuación 3]

Donde:

Q combustible= Calor del combustible

m=masa del combustible

PC= Poder calorífico del combustible

$$m = \frac{18980.27M}{\frac{43.10 MJ}{Kg}} = 440.38 \text{ Kg/Dia}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

[Ecuación 4]

Donde:

Vcombustible = Volumen del combustible

$$\rho = \frac{d}{cc}$$

$$V = \frac{440.38K}{832 \frac{K}{m^3}} = .529 \frac{m^3}{d}$$

**Cálculo de la masa diaria de combustible que se está consumiendo diariamente.**

$$C \quad P = 6000 \frac{g}{m} = 200 \frac{g}{d} = 0.76 \frac{m^3}{d}$$

$$m = V * \rho = 0.76 \left( \frac{m^3}{d} \right) * 832 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = 620 \frac{Kg}{m^3}$$

Una vez realizado este cálculo es notorio el alto nivel de ineficiencia del sistema de generación de vapor, ya que para generar los 5280 K g de vapor se debería utilizar 440.38 Kg de combustible y se está consumiendo 620 Kg

de combustible lo cual denota un consumo mayor en un 40.82% de combustible, Teniendo en cuenta lo dicho este sistema constituye en apto para la gestión energética dentro del proyecto de gestión energética planteado.

Comparándolo con indicadores de consumos de energía térmica en Europa (CADDET, 1997), se tienen los siguientes indicadores

$$E = 33.9 \frac{M h}{cc} / \text{año}$$

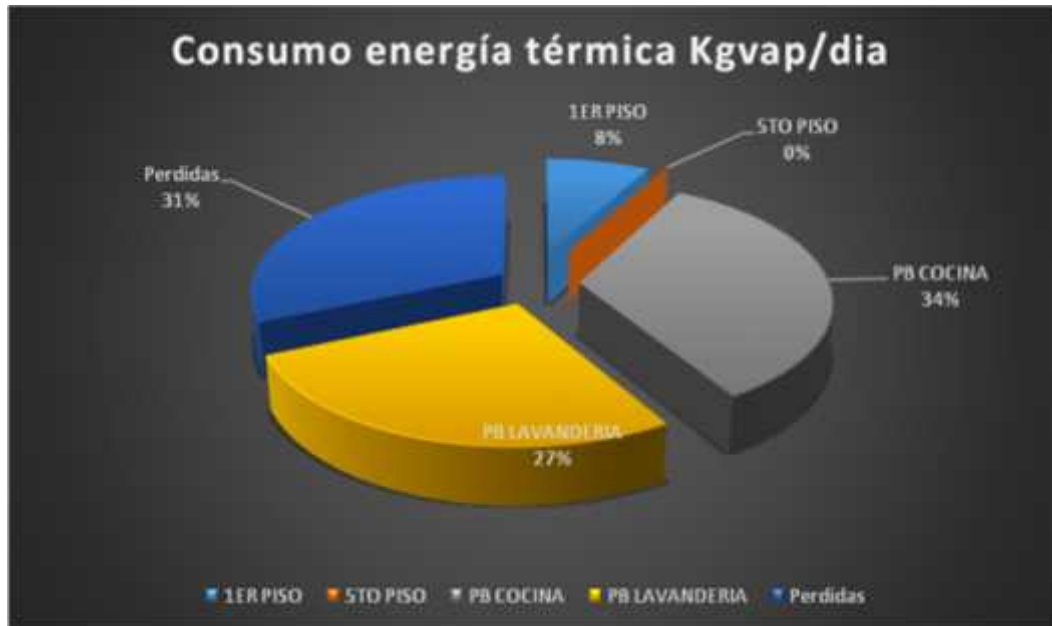
Comparándolo con los indicadores obtenidos en el Hospital San Vicente de Paúl Ibarra los cuales son:

$$E = 12.32 \frac{M h}{cc} / \text{año}$$

Hay que tomar en cuenta que el área de esterilización no consume vapor ya que hace un tiempo atrás se adquirió autoclaves eléctricos que generan su propio vapor por medio de efecto joule, no existe calefacción, en el área de lavandería existen lavadoras con fugas de peor internas las cuales están en proceso de cambio, El presente análisis realizado en base al consumo actual de combustible comparado con el consumo de combustible requerido para satisfacer la demanda de vapor por día es un análisis más apegado a la realidad para determinar de la situación energética del sistema de vapor.

El consumo de energía térmica del hospital luego de este análisis quedara así:

$$\dot{m} = 620 \frac{Kg}{m^3} / d \quad \text{Generación de vapor} = 7480 \frac{Kg}{\text{día}}$$



**Figura 6: Consumo de energía térmica del hospital**

Los resultados obtenidos dan un 31% correspondiente a pérdidas que pueden deberse a las siguientes causas:

- No se opera la caldera a las presiones adecuadas a lo requerido en el Hospital.
- No se calibra en forma periódica ni técnica la relación aire/combustible.
- No se reparan fugas en las líneas de distribución de vapor.
- Existen retornos de carga viva de vapor hacia el tanque de condensado por fallo en trampas y accesorios.
- No existe un mantenimiento periódico en el aislamiento térmico y accesorios de la línea de vapor.
- Se mantienen tramos de tubería de vapor sin uso final aun con suministro de vapor.

### **2.2.3.3 Sistema de Vacío**

El sistema cuenta con una bomba de vacío tipo paleta rotativa lubricada por aceite con una capacidad de aspiración de 200m<sup>3</sup>/h y una potencia

eléctrica de 7.5 kW con un promedio de funcionamiento de 6 h/día. No se constituye en un sistema de potencial ahorro energético.

#### 2.2.3.4 Sistemas de Gases Medicinales

Instalación de tanque de O<sub>2</sub> criogénico de 6000 Kg de capacidad. No representa ningún consumo energético representativo

#### 2.2.3.5 Sistema de Agua Potable y Residual

##### EVALUACIÓN INICIAL.

El uso del agua potable y residual obtenida de la red (Emapa) es utilizado para uso general lo cual incluye: baños, cocina, aseo, lavandería y generación de vapor.

El sistema posee dos cisternas con capacidad de 220 m<sup>3</sup>.

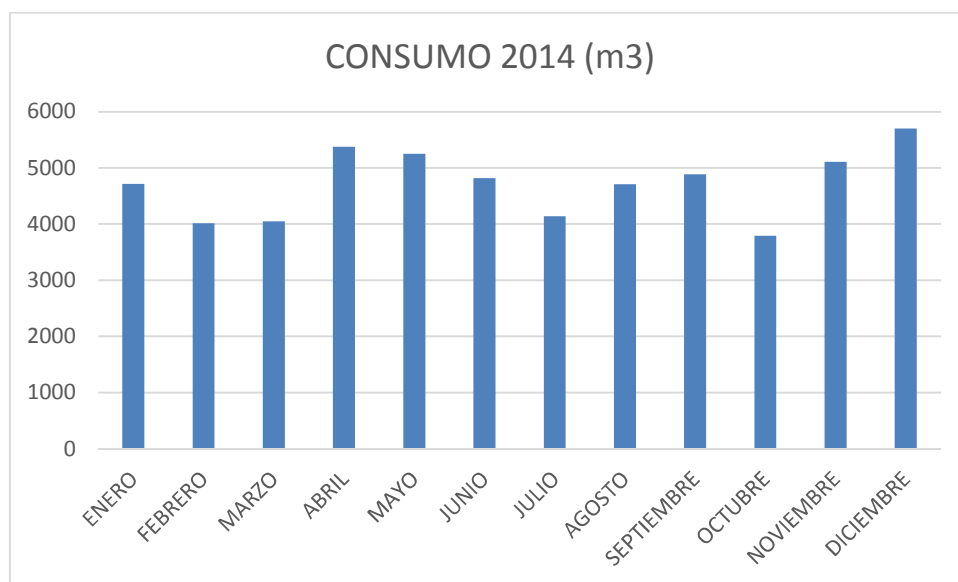


Figura 7: Consumos del año 2014

## **Análisis de consumo de agua**

El hospital tiene un índice de consumo de 27.83 m<sup>3</sup>/cama/día que comparado con los 0.2 m<sup>3</sup>/cama/día que reflejan los hospitales europeos (Fundación de la energía de la comunidad de Madrid) representan un potencial ahorro de energía en este sistema.



El sistema en la actualidad no posee ningún medio de ahorro de consumo de agua, además el 95% de sus instalaciones tiene una vida útil de más de 20 años, incluyendo inodoros con un consumo de casi 20 lt por descarga cuando en la actualidad se tienen inodoros de menos de 6 litros, lo cual es una gran diferencia que conlleva a costos energéticos como lo son la movilización y tratamientos de sus aguas residuales.






## LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL.

### Cuadro 11:



#### Elementos de suministro de agua fría.

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DIA	OBSERVACIONES	
2	Cisternas de almacenamiento	Construcción: hormigón armado Volumen: 220 m3	Bueno	24 horas	Tiempo de operación 25 años La primera cisterna corresponde a almacenamiento de ingreso y la segunda de almacenamiento de agua tratada con sistema de clarificación.	
2	Bombas de traspaso de tanque de almacenamiento de ingreso a cisterna de agua tratada	Marca: Luigi boraghi Modelo: BC21R Tipo: centrifuga	bueno	6 horas	Tiempo de operación: 25 años	



CONTINUA=>

3	Bomba de alimentación a hidroneumáticos	Marca: Luigi biraghi Tipo: centrifuga Modelo:L655H6Br Potencia: 5HP V:220v	bueno	6 horas	Tiempo de operación: 25 años las tres bombas son Luigi biraghi modelo L655H6Br	
2	Hidroneumáticos	Capacidad: 6000 l Marca: C. paloschi P. atmosférica: 6 bares.	bueno	6 horas	Tiempo de operación: 25 años las bombas arrancan cuando los presostatos dan una presión de 3 kg/cm <sup>2</sup> . Y se apagan cuando existe una presión de 5kg/cm <sup>2</sup> .	
1	Red de tuberías	Tubería de hierro galvanizado HG Uniones roscadas completas con accesorios de unión soportes y señalización.	bueno	6 horas	Tiempo de operación 25 años se encuentran en buen estado.	

**Cuadro 12:**  
**Elementos de suministro de agua caliente y recirculación**

CANT	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESTADO	HORAS USO/DIA	OBSERVACIONES	
1	Tanque de agua caliente	Calentamiento: vapor Control: termostato Temp. Agua: 45°C	bueno	5 horas	Tiempo de operación 12 años se encuentra en buen estado.	
1	Tanque de expansión y válvula de 3 vías		bueno	24 horas	Tiempo de operación 25 años dos sistemas de distribución: 66-75° Lavandería: 45-50° Red de agua caliente sanitaria.	

CONTINUA====>

2	Bombas de recirculación de agua caliente	<p>Marca: Luigi biraghi          Tipo: R618-6/SR          HP: 2          KW: 1,5</p>	malo	6 horas	<p>Tiempo de operación 25 años se encuentran en mal estado existen fugas.</p>	
1	Red de tuberías	<p>Las tuberías son de hierro galvanizado cedula 40 uniones roscadas completas con accesorios y aislamiento térmico.</p>	bueno		<p>Tiempo de operación: 25 años se evidencia un buen estado de las tuberías y los aislamientos.</p>	

### **2.2.3.6 Otros sistemas**

El hospital además de los sistemas ya descritos no posee otro sistema que represente un consumo energético necesario para ser analizado como potencial objetivo de análisis de eficiencia energética. Los restantes se revisaran brevemente a continuación:

#### **SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN**

El sistema de climatización de quirófanos está fuera de operación desde hace aproximadamente 15 años. Es solo de ventilación, lo cual lo desestima como un sistema gestionable en cuanto a eficiencia energética se trata.

#### **SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE.**

Actualmente el sistema está compuesto por 3 motores extractores el primero de 13000 m<sup>2</sup>/h, el segundo de 10000 m<sup>2</sup>/h y el tercero de 3000 m<sup>2</sup>/h. haciéndolo desestimable como objetivo de gestión energética.

### **2.2.4 Selección del Sistema Térmico como potencialmente gestionable**

#### **2.2.4.1 Cálculo de Índices de Desempeño Energético**

Los índices de desempeño energético hospitalario son aquellos que indican el consumo energético del mismo en base a su ocupación es decir por cama, o también por unidad de área, una vez obtenidos dichos índices y teniendo en cuenta ciertos parámetros detallados más adelante se los comparara con índices de hospitales más eficientes alrededor del mundo.

Los parámetros más importantes a considerar en dicha comparación son:

- Tamaño del hospital esto tomando en cuenta tanto área como número de camas.

- Los servicios brindados al público como pueden ser unidad de quemados, quirófanos, etc.
- Su posición geográfica y todo lo que ello representa.
- Los servicios internos dentro del hospital como son lavandería, cocina, etc.
- Los recursos energéticos consumidos como son el diésel o la energía eléctrica.

Es necesario para la obtención de estos índices de desempeño energéticos, la realización de un balance energético del sistema de vapor del hospital, para con ello obtener la eficiencia real del sistema y así compararlos con los cálculos antes realizados en el presente trabajo, para así proceder a la comparación de los mismo con los índices de hospitales eficientes en un mismo rango a nivel internacional.

Dichos indicadores serán analizados en los tres escenarios siguientes:

1. Con eficiencia térmica estimada.
2. Con eficiencia térmica actual calculada.
3. Con eficiencia térmica luego de mejoras al sistema

### **Cálculo del índice de consumo térmico**

Índice de desempeño energético térmico obtenido en el apartado 2.2.2.1.

Índice de desempeño energético eléctrico (MAFLA,2014)

$$E_t = 12.32 \frac{M \cdot h}{\text{c}\text{c}} / \text{año}$$

$$E_e = 3.96 \frac{M \cdot h}{\text{c}\text{c}} / \text{año}$$

### Cálculo de índice de consumo térmico escenario N°2.

En concordancia con los consumos recopilados en la práctica de los consumos de cada uno los elementos del sistema se tendrán un consumo diario de 5280 Kg de vapor.

1. Cálculo del Q necesario para llevar 5280 Kg de agua hasta el punto de ebullición a 1 bar de presión. El tanque de condensado presenta una temperatura de 88°C.

$$Q=m \cdot C_p \cdot T$$

Donde:

Q=Cantidad de calor

m= masa de agua

Cp= Capacidad calorífica específica a presión constante

T= Variación de temperatura

$$Q=5280 \text{ Kg} \cdot 4.2 \left( \frac{\text{KJ}}{\text{kgk}} \right) \cdot (92-88) \text{K}=88.7 \text{MJ}$$

2. Para convertir en vapor a la presión de trabajo actual (4 bar)  
*Revisando tablas termodinámicas de vapor con presión P=4 bar.*  
(Cengel Y., Termodinámica, 2009)

Tenemos:

$$T=143.6^{\circ} \quad h=2738.6 \frac{K}{K}$$

$$Q=m \cdot \Delta h$$

Donde:

Q= cantidad de calor

m= masa del agua

h= variación de entalpía del vapor

$$Q=m \cdot h=5280\text{Kg} \cdot 2738.6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 14459.81 \text{ M}$$

$$Q_{total}=Q_{latente}+Q_{sensible}$$

$$Q = 14459.81 \text{ M} + 88.7 \text{ M} = 14548.51 \text{ M}$$

- Eficiencia del sistema térmico calculado= 57.62%. (Calculado en el literal 2.2.3.2)
- Q demandado = 14548.51 MJ / día

$$e=\left(\frac{Q}{Q}\right)$$

Donde:

e= eficiencia del sistema térmico

Qvapor= Calor requerido por el vapor

Qcombustible=Calor del combustible quemado



$$Q = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{14548.51 \frac{M}{d}}{0.576} = 25257,83 \left( \frac{m}{D} \right) * 365 D = 9219107,9 \left( \frac{M}{año} \right)$$

$$Q = 9219107,9 \left( \frac{M}{año} \right) * \frac{1}{3.6} \left( \frac{K}{M} \right) = 2560,86 \left( \frac{M \cdot h}{año} \right)$$

220 camas con porcentaje de ocupación del 77%

$$E = \frac{Q}{n \cdot d \cdot cc \cdot \%o}$$

$$Q = \left( \frac{Q}{\epsilon} \right) = (14459.81 \frac{M}{d}) / 0.71$$

$$E = \left( \frac{2560,86 \left( \frac{M}{año} \right)}{220 * 0.77} \right)$$

$$E t = 15.12 \left( \frac{MWH}{cama} \right) / año$$

**Cálculo del índice de consumo térmico escenario N°3 con una eficiencia del sistema del 86% el cual sería el objetivo de este trabajo luego de la propuesta de eficiencia energética.**

$$Q = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{14548.51 \frac{M}{d}}{0.86} = 16875,02 \left( \frac{m}{D} \right) * 365 D = 6159384.05 \left( \frac{M}{año} \right)$$

$$Q = 6159384.05 \left( \frac{M}{año} \right) * \frac{1}{3.6} \left( \frac{K}{M} \right) = 1710.94 \left( \frac{M \cdot h}{año} \right)$$

220 camas con porcentaje de ocupación del 77%

$$E = \frac{Q}{m \cdot d \cdot cc \cdot \%o}$$

$$E = \left( \frac{1710.94 \left( \frac{M}{\text{año}} \right)}{220 \cdot 0.77} \right)$$

$$E \approx 10.1 \left( \frac{M}{cc} \right) / \text{año}$$

Obtenido el índice de consumo antes y después de la propuesta puede compararse con los índices energéticos internacionales y observar que está situado por debajo de los de la región como es el caso de Chile, aunque debe tomarse en cuenta que dichos índices se ven afectados por la situación geográfica del país y más aún por la particular de este hospital.

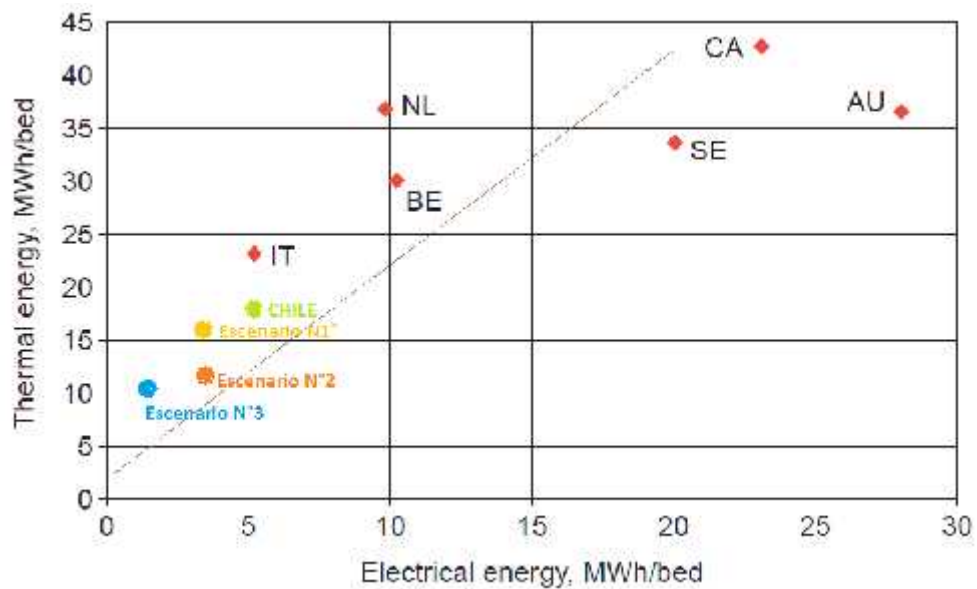


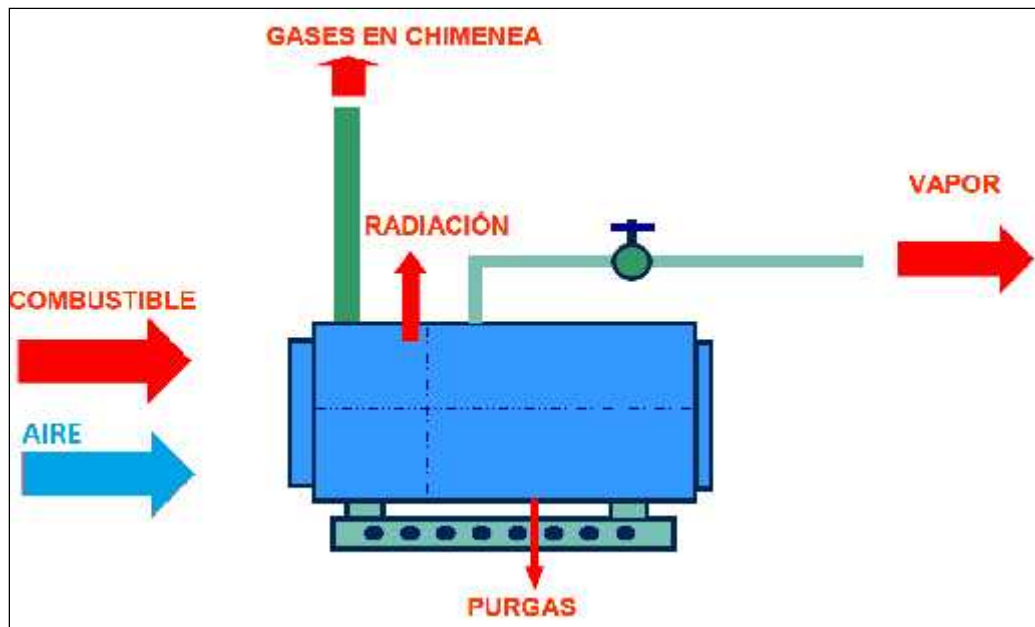
Figura 8: Indicadores consumo energético anual por cama escenarios 1, 2, 3

Fuente: (CADDET, 1997)

### 2.2.4.2 Balance Energético del Sistema Térmico

#### MARCO TEÓRICO.-

El hablar de un balance energético del sistema térmico se refiere a un análisis del proceso en el cual interviene un flujo de calor mostrando su origen y finalidad. Para dicho análisis son necesarias las siguientes mediciones: Entrada de energía, pérdidas de energía al ambiente, descargas de energía (CONUEE, 2009)



**Figura 9: Esquema de un balance energético de un sistema térmico.**

Una máquina térmica es aquella que transforma la energía química de un combustible en este caso de Diésel II de origen fósil en energía térmica como lo es vapor, para su posterior uso en máquinas que lo utilizan en variadas aplicaciones, como lo son: cocinar, lavar ropa, etc.

Para realizar un balance energético del caldero del hospital es necesario medir los subproductos de la combustión como son los gases de escape por medio de un análisis de humos que darán con una gran exactitud los flujos de dichos gases, entre ellos el de aire cuando están disponibles los datos exactos

acerca del flujo de combustibles, es posible obtener la eficiencia de dicho caldero, análisis que para esta investigación se obtuvo por primera vez en este hospital, arrojando un valor de 77.6%.

### Perdidas de energía

Las pérdidas de energía en forma de calor del proceso hacia el ambiente se dan por efectos de radiación y convección.

Las pérdidas de calor por convección se dan a través de los gases calientes en la superficie del caldero, desplazados por gases de menor temperatura los cuales se analizan con la ley del enfriamiento de Newton:

$$\frac{d}{dt} = h_c A(T_s - T_o)$$

Donde:

$$\frac{d}{dt} = \text{energía por unidad de tiempo} \quad \left(\frac{J}{h}\right)$$

$$h_c = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección} \quad \left(\frac{J}{h * m^2 * ^\circ C}\right)$$

$$A = \text{área de la superficie} \quad (m^2)$$

$$T_s = \text{temperatura superficial} \quad (^\circ C)$$

$$T_o = \text{temperatura ambiente} \quad (^\circ C)$$

Para la obtención de estos datos de temperatura superficial se procederá a la toma de mediciones por medio de un termómetro laser infrarrojo.

## Descargas de energía

Para el balance de energía en cuestión, son necesarios los datos de velocidad de descarga, temperatura de cada salida de la unidad de proceso. En el este caso se requerirá la composición de los subproductos de la combustión además de la temperatura de los mismo y el régimen de entrada de combustible para encontrar:

- Flujo de entrada de aire
- Flujo de gases de escape
- Energía despedida por la chimenea de escape

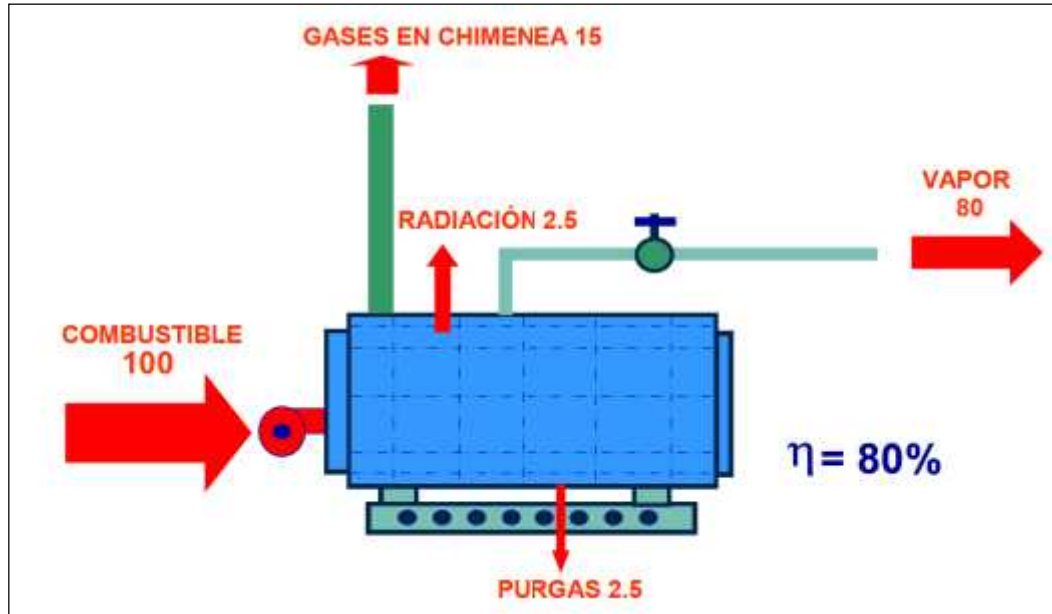
Dicho análisis de subproductos gaseosos de la combustión se realizaron mediante el equipo Testo 310 de propiedad del autor de esta investigación. Se suministra aire en exceso para que cada molécula de combustible tenga las suficientes moléculas de oxígeno, evitando la generación excesiva de MONÓXIDO DE CARBONO y se subsane así de alguna manera el proceso desigual de mezcla.

## Eficiencia térmica

Para calcular la eficiencia se debe primero determinar la cantidad de energía que ingresa en el proceso lo más exactamente posible, para lo cual es preciso saber la cantidad de combustible quemado así como su poder calorífico (PCB) ya sea en función de su masa (Kg) o volumen (m<sup>3</sup>)

Al hablar de eficiencia energética del caldero se refiere a la relación de energía que ingresa en forma de combustible versus la energía útil que se obtiene en forma de vapor.

$$E = \frac{E}{E} \frac{a}{st}$$



**Figura 10: Esquema de eficiencia energética en un balance térmico**  
Fuente: (CONUEE, 2009)

Revisando los resultados arrojados por el análisis de combustión (74,59%) se nota que el resultado se acerca al rendimiento teórico del caldero el cual está en un 80% incluidas las pérdidas asociadas al proceso térmico.

### Recuperación del condensado

Una de las etapas que más consume energía en el proceso de producción de vapor es el calentamiento del agua al punto de ebullición, para lo cual es vital para el sistema, la reducción de la diferencia de temperatura del agua a ser evaporada, aquí es donde debe considerarse la importancia que tiene la temperatura del retorno del condensado, es decir se tiene que recuperar el condensado a la mayor temperatura posible reduciendo así el diferencial de temperatura influyendo directamente en la eficiencia del caldero.

Para eliminar el oxígeno (O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) posibles causantes de corrosión y consecuente daño severo a las tuberías y caldero se debe llevar al agua a su punto de ebullición, razón por la cual es muy importante que la calidad del vapor sea de 1 (100% vapor sobrecalentado).

Por cada 6 °C de temperatura en el diferencial de temperatura que se tenga que añadir al agua de alimentación, la eficiencia del sistema caerá en un 1%.

Imaginando que se tiene agua a temperatura de 20 °C en el tanque de calentamiento y se eleva su temperatura a 100 °C para alimentar al caldero, para ello se necesitaría 1 Kcal/Kg de agua, en este caso 80 Kcal es decir 334.944 kJ por cada Kilogramo de agua lo cual representa un 13.3% de energía contenida en el agua.

Sin embargo, no se puede tener un temperatura demasiado alta de recuperación de condensado ya que provoca cavitación en las bombas de alimentación de las calderas.

Uno de los síntomas que alertan del mal funcionamiento de las trampas de vapor es el retorno de condensado a una temperatura demasiado alta, el cual no es el caso de este hospital ya que las trampas de vapor se encuentran en buen estado de funcionamiento, ya que en el Hospital San Vicente de Paul si se realiza un mantenimiento regular de las trampas de vapor las cuales no superan el 5% del total de trampas abiertas.

## **Calderos**

Un caldero es una maquina encargada de transformar la energía química del combustible en energía térmica, el proceso básicamente consiste en calentar el agua al punto de convertirla en vapor y darle la presión requerida, al transferir el calor de los gases de escape al agua, gases obtenidos por medio de la combustión del Diésel. Existen dos tipos de calderos ya sean piro tubular o acuotubulares. En el hospital San Vicente de Paul tiene dos calderos de tipo piro tubular, en los cuales se centra esta investigación.

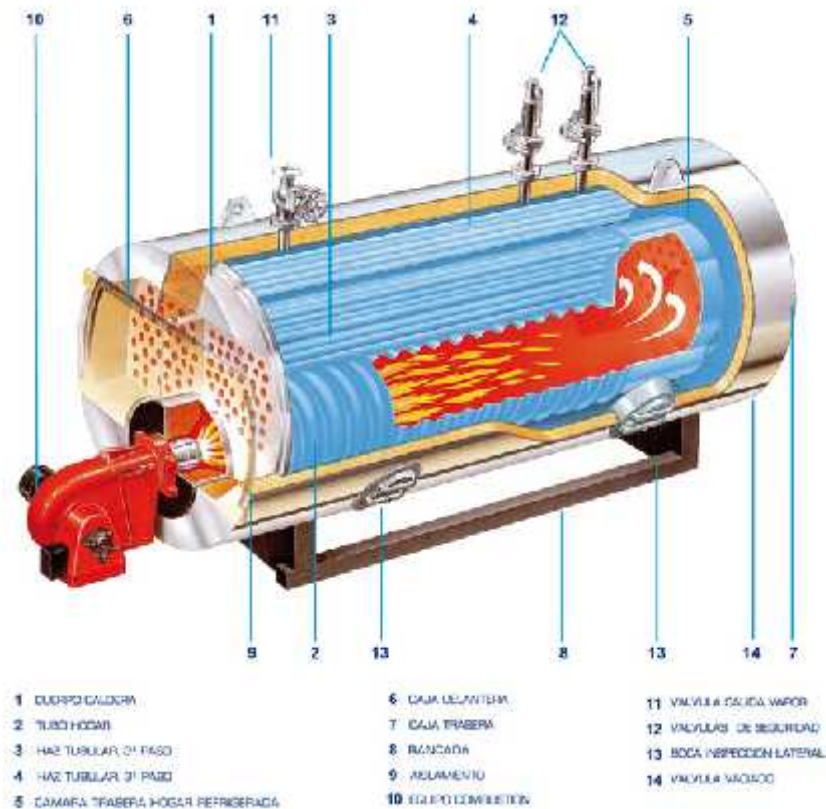
El caldero piro tubular funciona haciendo pasar los gases calientes de la combustión del diésel por un conjunto de tubos los cuales a su vez transfieren el calor al agua en la cual están sumergidos. Este tipo de caldero es

clasificado como de concha, ya que el agua y el vapor se encuentran contenidos en una coraza que aloja los elementos productores de vapor.

El límite práctico de presión de un caldero de este tipo se encuentra en los 250 libras por pulgada cuadrada (psi), esto por cuanto se tiene consideraciones estructurales como la fuerza de dirección longitudinal resultado de la presión del vapor generado dentro el caldero, además de las consideraciones económicas que conllevan aumentar dicha presión en cuanto al material de construcción, esto implica un límite de alrededor de 25000 libras de vapor por hora (aprox. 750 BHP de caldero).

Es común encontrarse con calderos con capacidades de alrededor de 15000 libras por hora. Este tipo de calderos son por lo general de construcción simple fuerte y relativamente baratas, a esto se suma su flexibilidad de adaptación a cambios de carga y como desventaja podemos notar la lentitud en alcanzar la presión de operación a partir del arranque en frío debido a su significativo contenido de agua.





**Figura 11: Esquema de caldero piro tubular**  
Fuente: (SOGECAL, 2012)

### Tipos de caldero piro tubular y breve descripción de los mismos

En el mercado podemos encontrar dos tipos de calderos piro tubulares

- **De retorno Horizontal.-** Consiste en una concha o tambor que contiene los tubos de flujo de gas los cuales se extienden a lo largo de ella rodeados de agua que también se encuentra contenida en la concha. El cilindro está suspendido por un soporte de acero dentro de una cámara de ladrillo la cual forma una especie de horno.
- **De tipo escoces.-** Es un caldero de horno integrado, este tipo es esencialmente completo, dicho horno tiene una forma cilíndrica, está en el centro del caldero y los tubos de fuego por sobre y a los lados

del mismo. Este tipo de caldero es el utilizado en el Hospital San Vicente de Paúl.

### **Operación eficiente de calderos piro tubulares**

A continuación se detallan cinco factores que causan la pérdida de eficiencia en calderos.

- Cantidad de combustible no quemado producto de combustión incompleta.
- Exceso de purgas del caldero.
- El calor latente proveniente del vapor de agua presente en los gases de escape resultantes del hidrogeno en el combustible y la humedad del aire de alimentación.
- Pérdida en gases secos de chimenea, como se le conoce al calor arrastrado por los gases calientes.
- Pérdida por radiación debido a su aislamiento.

### **Parámetros que afectan a la eficiencia de calderos**

#### **a) Cantidad de exceso de Aire**

Es vital la regulación de este parámetro ya que un nivel muy alto del mismo conlleva a gastar más energía en calentar el aire para luego expulsarlo al ambiente por la chimenea desperdiciando así una cantidad considerable de energía. A esto hay que sumarle la reducción de temperatura en la chimenea y el consumo de potencia de los ventiladores de tiro forzado e inducido que constituyen beneficios adicionales, una regulación correcta del exceso de aire conlleva a una significativa mejora de la eficiencia del caldero ya que reduce la cantidad de gases de escape y su temperatura.

**b) Régimen de fuego (Régimen de producción de vapor o porcentaje de carga)**

Al variar este parámetro ocurren notables cambios en el comportamiento de la eficiencia del caldero. Son significativas las pérdidas por radiación ocasionada al disminuir dicho régimen al igual de las pérdidas en los gases secos de chimenea.

**c) Temperatura de los gases de la chimenea**

Entre más alta sea la temperatura de los gases de combustión menor será la cantidad de calor aprovechado por el sistema razón por la cual se debe tratar de mantener esta temperatura lo más baja posible. Una lectura de estos gases alta puede deberse a que tenemos una superficie muy pequeña de transferencia de calor y/o dichas superficies con acumulación de suciedad.

El área de transferencia de calor puede ser agrandada por medio de un economizador o de un precalentado de aire y/o agua de alimentación.

Además hay que tener muy en cuenta el mantenimiento de los tubos de fuego para así evitar que la suciedad se acumule impidiendo así la transferencia de calor hacia el agua

**d) Temperatura de agua de alimentación**

Un parámetro influyente en la eficiencia del caldero está en la temperatura de alimentación ya que al aumentar esta disminuye el diferencial de temperatura para transformarla en vapor saturado, esto se logra usando un economizador que no es más que un intercambiador de calor que aprovecha los gases de la chimenea para precalentar el agua de alimentación.

**e) Temperatura del aire de combustión**

La temperatura del aire de combustión es también un aspecto que influye en la eficiencia del caldero ya que al aumentar el mismo obtendremos una ganancia en cuanto a eficiencia se refiere, esto se podría lograr con un pre calentador del aire usando los gases de la combustión en la chimenea.

#### **f) Suciedad en las superficies de transferencia de calor**

La acumulación de suciedad tanto en el interior como el exterior de los tubos provocan un deficiencia en la transferencia del calor producido por la combustión del diésel lo cual se ve claramente reflejado en el desempeño poco eficiente del caldero

#### **g) Purga**

Siendo un procedimiento común para la eliminación de impurezas en el agua del caldero que provocan incrustaciones y afectan la calidad del vapor, también constituye una gran pérdida de energía en forma de agua caliente que se lanza al ambiente, dependiendo de la cantidad de purgas que se realicen está perdida llega a ser muy significativa, aunque un parte de dicha perdida puede recuperarse recolectando el líquido purgado haciendo que este líquido vuelva al agua de alimentación y los intercambiadores de calor absorben la energía contenida en el agua de purga.

#### **h) Presión de vapor**

No se considera una alternativa de gran ganancia en cuanto a eficiencia el reducir la presión de vapor pero en ciertas ocasiones se puede llegar a ganar hasta un 2% en el costo de combustible.

#### **i) Perdidas de calor en el exterior del caldero**

Las pérdidas de calor por radiación y convección pueden ser sustanciales en los diseños actuales de calderos. El problema radica que estas pérdidas son muy difíciles de reducir desde un punto de costo beneficio, dichas perdidas tienden a aumentar con la reducción de carga del caldero y pueden alcanzar hasta un 7% para las instalaciones pequeñas o unidades grande que funcionan a bajas cargas.

### **Componentes del sistema de vapor y condensado**

- a) Caldero.-** Produce el vapor para los procesos requeridos.
- b) Línea de vapor.-** Conduce el vapor hasta los diferentes procesos.
- c) Válvulas reguladoras de vapor (de flujo y de presión).-** estas son las encargadas de dosificar ya sea la presión como la cantidad de vapor por unidad de tiempo acorde a los requerimientos de cada proceso.
- d) Trampas de vapor.-** Son utilizadas después del proceso requerido para evacuar el condensado de vapor y aire remanente en las líneas de vapor.
- e) Retorno del condensado.-** Es utilizado para la obtención de vapor flash aprovechando así una parte la energía remanente en el condensado.
- f) Tanque de condensado.-** Este es el encargado de recolectar todo el condensado obtenido después de la ejecución de los procesos.
- g) Bomba de alimentación.-** Es la encargada de transportar el agua de alimentación desde el tanque de condensado hacia el caldero.

**h) Bomba de condensado.-** Es usada en ciertas ocasiones en que la el tramo de tubería es muy largo.

### **Evaluación de los requerimientos de vapor**

Existen algunos métodos para determinar el consumo de vapor en un proceso como son:

- En base a las tablas de consumo
- En base a balances de energía
- En base a mediciones directas obtenidas en el proceso.

### **Aspectos que incrementan la eficiencia en los sistemas de vapor.**

Son tres los aspectos más importantes que si son atendidos mejoran de forma evidente la eficiencia de un sistema de vapor, y son:

#### **a) Generación de vapor**

Las siguientes medidas son las utilizadas en cuanto a eficiencia energética se refiere.

- Recuperación del condensado y aislamiento térmico de la línea de retorno.
- Precalentamiento del agua fresca de alimentación con calor residual.
- Tratamiento químico del agua de alimentación a la caldera.
- Regulación y control de flujos de purga del agua de la caldera.
- Reducción del exceso de aire.
- Precalentamiento del aire de combustión con calor residual.
- Precalentamiento y atomización adecuada del combustible.
- Aislamiento térmico del cuerpo de la caldera.

- Ajuste del quemador.
- Ajuste de los controles automáticos de la caldera.
- Regulación de la carga de operación de la caldera.

#### **b) Distribución de vapor**

Para reducir las pérdidas energéticas en la línea de distribución de vapor es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Utilizar los diámetros de tubería apropiados para cada proceso
- Cuidar el aislamiento de las tuberías tratando de mantener su integridad el mayor tiempo posible
- Evitar o reparar fugas de vapor por defectos en la tubería.

#### **c) Consumo de Vapor.-**

Es necesario que cada unidad de proceso funcione con eficiencia para lo cual es necesario revisar principalmente los siguientes aspectos:

- Diseño adecuado de los equipos
- Manejo de presión y temperaturas adecuadas
- Mantener el alistamiento térmico adecuado para cada equipo
- Uso del calor residual presente en los gases de escape para el precalentamiento tanto de aire como de agua para el proceso
- Dimensionamiento y posicionamiento adecuado de las trampas de vapor.

## ESTADO DE LOS CALDEROS DEL HOSPITAL Y SUS COMPONENTES

En el hospital San Vicente de Paul se cuenta con dos calderos piro tubulares tipo escoces operativa una desde la construcción del edificio es decir ya más de 25 años y el otro tiene alrededor de 10 años, el estado general de los calderos es bueno pese a que en el hospital carecen de un programa de calibración de combustión y dicho proceso se lo realiza de una manera no técnica, cabe rescatar que el mantenimiento preventivo si se lo realiza cada 6 meses aunque los calderos suelen presentar fugas de líquido.



**Figura 12: Calderos Hospital San Vicente de Paul**



### Datos caldero N° 1

#### Cuadro 13:

##### Datos de placa Datos caldero N°1

Marca SEVESO			
MODELO	VIP 160P-S	TIPO DE COMBUSTIBLE	Diésel 2
SERIAL	ilegible	Capacidad de vapor	830 kgvapor/hora
MOTORES TRIFÁSICOS	Ilegible		
MOTORES MONOFÁSICOS	Ilegible		
TASA DE COMBUSTIBLE	ilegible		
NUMERO DE PASOS	2		

### Datos de caldero N° 2

#### Cuadro 14:

##### Datos de placa Datos caldero N°2

Marca YORK-SHIPLEY GLOBAL			
MODELO	560-SPH-100-2	TIPO DE COMBUSTIBLE	Diésel 2
SERIAL	05-21620	Capacidad de vapor	830 kgvapor/hora
MOTORES TRIFÁSICOS	N/A		
MOTORES MONOFÁSICOS	N/A		
TASA DE COMBUSTIBLE	29.5 GAL/H		
NUMERO DE PASOS	2		

## **Caldero piro tubular**

La llama se origina en el hogar de la caldera y los humos residuales pasan por un banco de tubos los cuales transfieren el calor hacia el agua para así evaporar el agua, para luego esos humos puedan ser evacuados hacia el ambiente, cabe recalcar que tanto el hogar como el banco de tubos están sumergidos en agua.

### **Pasos de la caldera**

- La primera etapa es el hogar donde se produce la combustión es decir la mezcla aire combustible.
- La segunda fase consta de un banco de tubos encargados de llevar los gases combustionados, que por su alta temperatura serán transmitidos al agua.

El caldero se mantiene trabajando con DIESEL TIPO 2 a presión atmosférica (la presión del aire y el combustible es igual a la presión atmosférica). La recuperación del condensado ingresa al caldero a 89° Celsius.

El combustible es inyectado por un sistema asistido (por inyección de aire) y también se ayuda con un pulverizador centrífugo.

La chimenea tiene un diámetro de 0.45 m y una longitud de 8.70 m colocada de forma vertical y está sujeta a la pared por medio de abrazaderas a un costado de la casa de máquinas.

### **Coraza o concha del caldero**

Está formada por 3 partes, la primera desde su interior está hecha de acero para evitar su deformación por efectos de la presión a la que está

sometida, luego viene la capa aislante la cual está hecha de lana de vidrio cuya finalidad es tratar de que la menor cantidad de calor posible fugue del caldero y por ultimo una cubierta de latón que sostiene a su capa anterior, la longitud de la coraza es de 2.50 m



**Figura 13: Coraza del caldero**

### **Hogar del caldero**

El hogar del caldero es básicamente un cilindro ligeramente ondulado con espiral en su interior, este es el lugar donde se realiza la combustión de la mezcla de aire combustible, para posteriormente esa energía calórica sea transferida al agua para luego evaporarla.



**Figura 14: Hogar del caldero**

## Banco de Tubos

El caldero posee 27 tubos encargados de transmitir la energía calórica de la combustión hacia el agua, dichos tubos tienen un diámetro interior de 38mm, 3mm de espesor de la pared y su longitud es de 2.50 m.



**Figura 15: Banco de tubos**

## Sistema de encendido

Es el encargado de dar la ignición de la mezcla aire-combustible por medio de un arco eléctrico, dicho proceso será realizado gracias a un circuito abierto y tiro forzado. Por medio del sistema de inyección de combustible activado por medio de un varillaje con mando manual y/o electrónica, para regular la mezcla existe una palanca que a su vez hace girar un DAMPER que controla la entrada de aire actuando también sobre las electroválvulas de combustible, lo cual se puede revisar gracias a un visor ubicado en la parte posterior.



**Figura 16: Quemador de encendido**

### **Tiempo de funcionamiento**

Ambos calderos funcionan 11 horas diarias alternadamente por un mes cada una.

### **Ablandador de agua**

Tiene como función deshacerse de la mayor cantidad de minerales contenidos en el agua aumentando así la vida útil del caldero, ya que estos minerales ingresan a las paredes de los tubos impidiendo la correcta transferencia de calor entre los tubos y el agua, llegando incluso a tapanlos impidiendo el paso de los gases.



**Figura 17: Ablandador de agua**

### **Sistema de alimentación de agua**

El condensador es el que cambia el estado del fluido caloportador para volver a cumplir el ciclo, la temperatura del agua en el inicio del condensador es de aproximadamente de  $90^{\circ}\text{C}$  y sale a  $85^{\circ}\text{C}$ , para ser llevado al caldero por medio de una bomba. En el caso del tanque de este hospital se encuentra en buen estado con buenos aislamientos, termómetro y demás accesorios funcionando correctamente.



**Figura 18: Tanque de condensado-alimentación de agua**

### **Bomba de alimentación de químicos al tanque de condensado**

Es la encargada de suministrar los químicos al tanque de alimentación para evitar minerales contenidos en el agua llegue al caldero, aumentando su vida útil.



**Figura 19: Bombas de alimentación de químicos al caldero**

### **Bomba de alimentación de agua al caldero**

Esta encargada de llevar el agua hasta el caldero desde el tanque de alimentación-condensado por medio de una red de tuberías, por su horario de funcionamiento (11 horas diarias), esta es accionada por un motor eléctrico.



**Figura 20: Bombas de alimentación de agua al Caldero**

### **Tanque de combustible**

Se encarga de abastecer el combustible antes mencionado al caldero para su funcionamiento diario el cual es abastecido por una bomba accionada por un motor eléctrico.



**Figura 21: Bomba de alimentación de diésel**

### **BALANCE TÉRMICO: SITUACIÓN ACTUAL**

Este balance se realiza previa recolección de datos para ello se utilizó un pirómetro digital láser para obtener datos de temperatura real en diferentes puntos del sistema. Los cuáles serán utilizados para desarrollar el modelo matemático detallado más adelante en el capítulo 3, cuyas ecuaciones se detallan en el literal 3.2. Todo el desarrollo completo del cálculo y resultados se detallan en los ANEXOS.



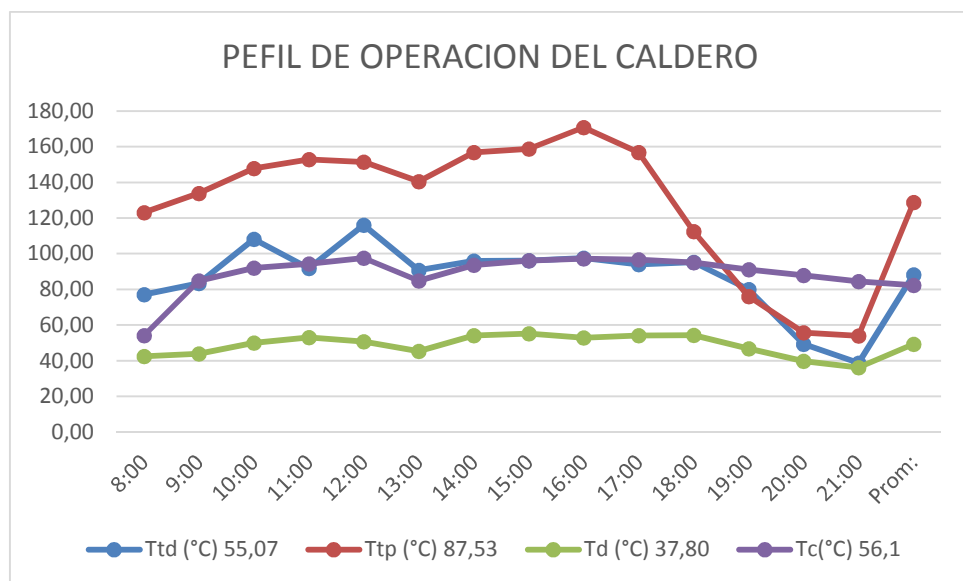
**Resultados experimentales:****Figura 22: Esquema de medición de temperatura**

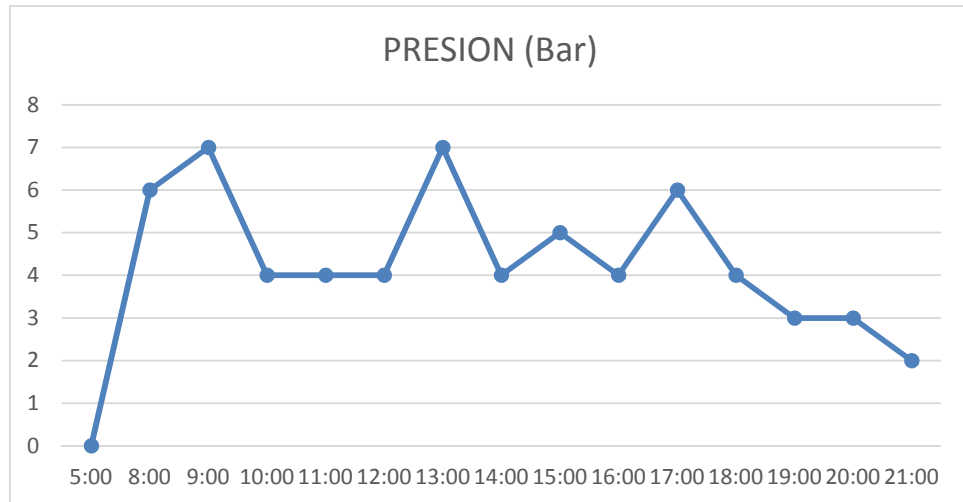
**Cuadro 15:****Historial de medición de temperatura del caldero**

Hora:	Ttd (°C)	Ttp (°C)	Td (°C)	Tc(°C)	PRESION (Bar)
	36,5	42	36,8	56,1	0
5:00	63,2	91,8	37,9		
	65,5	128,8	38,7		
	77,9	124,1	41,9	54,1	6
8:00	81,2	124,5	43,5		
	72,5	120,5	42,1		
	79,8	126,5	44,1	84,9	7
9:00	96,8	148,5	45,9		
	73,5	126,5	41,8		
	83,4	145,8	49,5	92	4
10:00	115,5	149,3	44,9		
	125,6	148,5	55,5		
	92,1	151,2	54,1	94,3	4
11:00	86,3	154,2	52,1		
	96,9	153,1	53,1		
	128,4	151	45,6	97,6	4
12:00	90,2	145	54,2		
	129,5	158,1	52,4		
	130,5	152,1	52,8	96,5	4
13:00	126,2	148,7	50,9		
	91,9	151,3	54,1		
	96,4	149,8	52,8	93,7	4
14:00	90,5	160,2	54,8		
	100,9	160,2	54,7		
	101,8	160,2	54,1	96,1	5
15:00	92,1	160,1	55,8		
	94,5	155,9	56		
	93,5	155,2	54,9	97,2	4
16:00	107,3	200,2	52,9		
	91,9	157,1	50,9		
	94,2	159,9	56,1	96,6	6
17:00	93,4	156,1	54,1		
	94,1	154,2	52,2		
	96,1	115,2	53,4	95,1	4
18:00	96,9	112,1	55,6		
	92,9	110,2	54,1		
	82	77,2	49,9	91,1	3
19:00	77,9	76	47,2		
	80,1	75	43,1		
	65	61,1	41,2	87,9	3
20:00	42,2	53,2	40,1		
	40,5	53,1	38,2		
	39,9	56,1	37,2	84,5	2
21:00	38,5	53,8	36,4		
	38	51,9	35,1		
Prom:	88	129	49	82	4

**Cuadro 16:****Perfil de funcionamiento del caldero resumido por horas**

Hora:	Ttd (°C)	Ttp (°C)	Td (°C)	Tc(°C)	PRESION (Bar)
5:00	55,07	87,53	37,80	56,1	0
8:00	77,20	123,03	42,50	54,1	6
9:00	83,37	133,83	43,93	84,9	7
10:00	108,17	147,87	49,97	92	4
11:00	91,77	152,83	53,10	94,3	4
12:00	116,03	151,37	50,73	97,6	4
13:00	90,80	140,53	45,40	84,9	7
14:00	95,93	156,73	54,10	93,7	4
15:00	96,13	158,73	55,30	96,1	5
16:00	97,57	170,83	52,90	97,2	4
17:00	93,90	156,73	54,13	96,6	6
18:00	95,30	112,50	54,37	95,1	4
19:00	80,00	76,07	46,73	91,1	3
20:00	49,23	55,80	39,83	87,9	3
21:00	38,80	53,93	36,23	84,5	2
Prom:	88	129	49	82	4

**Figura 23: Grafica del perfil de funcionamiento del caldero**



**Figura 24: Perfil de operación de la presión en el caldero**

## CAPÍTULO III

### 3 PROPUESTA

#### 3.1 Propuesta de gestión energética

El fin del presente trabajo investigativo es el determinar una posible mejora en el sistema energético térmico del hospital, una vez analizadas las variables que pueden ser afectadas, y con ello obtener un índice de eficiencia energética que nos permita compararlo con hospitales que posean similares condiciones tanto geográficas como de funcionamiento, y así intentar llegar a un nivel de eficiencia energética lo más cercano posible.

Con los resultados obtenidos desde la recolección de datos en campo se procede a realizar un modelo matemático que servirá para la evaluación del sistema antes y después de aplicado el plan de eficiencia energética, la cual intentaremos llegar a un 65% a 70% de eficiencia en el sistema de producción, distribución y consumo de vapor del Hospital San Vicente de Paúl.

Basado en los índices y modelo matemático antes mencionados se procederá a buscar el punto óptimo de funcionamiento del mismo y así reducir los costos tanto económicos como ambientales de este proceso lo que conlleva una reducción de costos y una mejora en la productividad.

Estrategias para lograr el punto óptimo de funcionamiento.

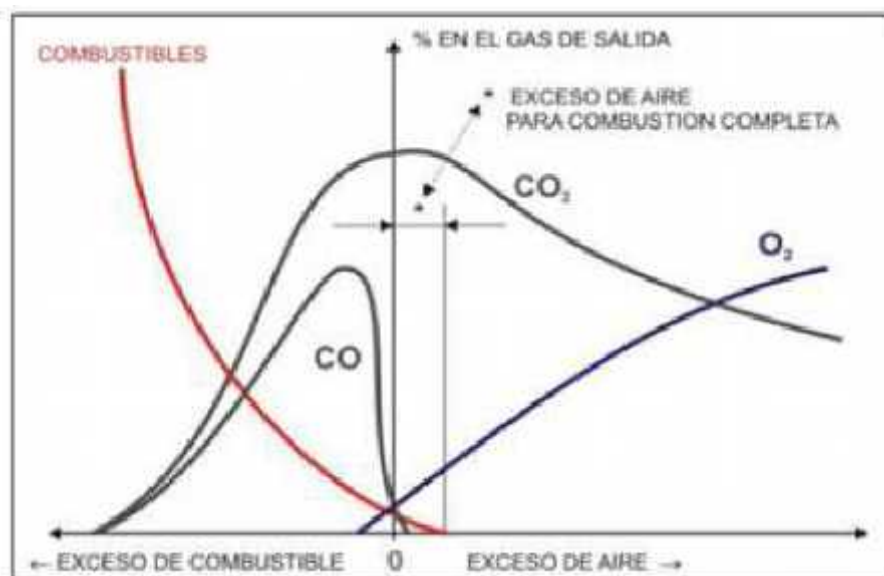
#### 1. Calibración del caldero en cuanto a su combustión

Los factores más importantes que intervienen en la eficiencia del caldero el punto de rocío ácido y el exceso de aire en la mezcla aire combustible.

El punto de rocío ácido es la temperatura de los gases de combustión en la que se comienza a condensar ácido sulfúrico y otros ácidos en la chimenea

de la caldera. La presencia de azufre en el combustible implica el desaprovechamiento de una parte de la energía calorífica del combustible que es expulsada en los gases productos de la combustión, a esto se suma que debemos suministrar más aire del requerido para la combustión lo cual implica una pérdida calorífica al momento de que el aire no combustionado evacua la chimenea llevándose una parte del mismo con él.

Tomando en cuenta que la calidad de la combustión depende de la cantidad de aire suministrado, y sabiendo que teóricamente si tenemos una relación estequiométrica ajustada, se obtendrá una combustión completa, lo cual en la práctica no se da, obligándonos a tener un exceso de aire en la combustión, el mismo que debe ser regulado cuidadosamente ya que un nivel muy alto en este exceso provocará un desperdicio de calor muy alto por las razones antes mencionadas,



**Figura 25: Composición del gas de combustión en función de la cantidad de aire.**

**Fuente:** (Agencia Andaluza de la Energía, 2011)

Se propone una reducción de la relación aire combustible hasta 10 a 1 siendo un valor óptimo para el tipo de combustible usado en el caldero.

**Cuadro 17:**

### Valores referencias de exceso de aire en función del combustible y tipo de quemador

COMBUSTIBLE	TIPO DE QUEMADOR	EXCESO DE AIRE MÍNIMO
Gas Natural	Atmosférico	65 %
	Tipo Anillo	45 %
	Boquillas	10 %
	Bajo exceso de aire	1 %
Petróleo	Atomizado por presión	15 %
	Copa rotativa	22 - 35 %
	Atomizado con vapor o aire	8 - 15 %
Carbón	Parrilla móvil	36 %
	Parrilla fija	36 %
	Pulverizado	8 %

Fuente: (Thermal Engineering Ltda.)

Utilizando el modelo matemático se obtendrán los siguientes resultados.

## 3.2 Determinación de Parámetros y Variables

### 3.2.1 Determinación de los parámetros y variables que serán utilizadas

#### ECUACIONES PARA CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA CALDERA

Las ecuaciones para el cálculo de la eficiencia de la caldera y del sistema de distribución de vapor son referidas a las ecuaciones de balance de energía térmica método directo y método indirecto. (ASME, 1999)

#### LIBRERÍA DE CONSTANTES

Altura de la ciudad de Ibarra = 2220 msnm

Gravedad =  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

= 3,14159265359

$1 \text{ m}^3 = 264,17205 \text{ galones}$

Constante universal de los gases =  $R_u = 8.31447 \left( \frac{\text{k}}{\text{k} \cdot \text{K}} \right)$

Conductividad térmica del acero inox =  $k_{\text{acero}} = 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$

Conductividad térmica del acero =  $k_{\text{acero}} = 52,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Conductividad térmica del aislante =  $k_{\text{aislante}} = 0,038 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Conductividad térmica del latón =  $k_{\text{laton}} = 127,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Conductividad térmica del refractario =  $k_{\text{refractorio}} = 1.04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Constante de boltzman =  $= 5.67 \cdot 10^{-8} (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4))$

## DIRECTORIO DE VARIABLES

Presiones:

$P_{\text{atmosferica}} = 79,5 \text{ kPa}$

$T_{\text{combustible}} = 25^\circ\text{C}$

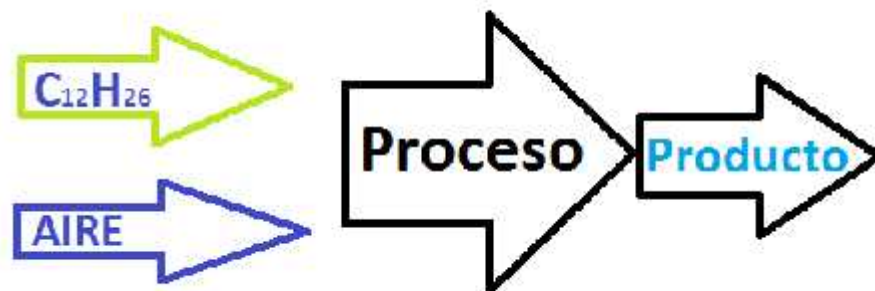
$P_{\text{combustibles}} = 79.5 \text{ kPa}$

$P_{\text{aire}} = 179.5 \text{ kPa}$

Temperatura ambiente =  $T_0 = 25^\circ\text{C}$

Temperatura  $_{\text{agua}} = 85^\circ\text{C}$

Temperatura  $_{\text{gases}} = 215^\circ\text{C}$



combustible =  $832 \text{ k} / \text{m}^3$

Poder calorífico del combustible =  $43100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Diámetro interior del hogar = 0.48 m

Diámetro exterior del hogar = 0.50 m

Longitud del hogar = 2.5m

Área interior del hogar =  $A_{\text{ih}} = \left( \frac{\pi \cdot D \cdot H^2}{4} \right) = 0.1963 \text{ m}^2$



$$\text{Área exterior del Hogar} = A_{eh} = \left(\frac{\pi \cdot D}{4}\right) = 0.2104 \text{m}^2$$

$$\text{Área interior del banco de tubos} = A_{ibt} = \left(\frac{\pi \cdot D}{4}\right) = 0.0012 \text{m}^2$$

$$\text{Área exterior del banco de tubos} = A_{ebt} = \left(\frac{\pi \cdot D}{4}\right) = 0.0015 \text{m}^2$$

$$\text{Superficie interior del banco de tubos} = S_{ibt} = \pi \cdot D_{i \text{ .t b}} \cdot L_t = 0.258 \text{m}^2$$

$$\text{Superficie exterior del banco de tubos} = S_{ibt} = \pi \cdot D_{e \text{ .t}} \cdot L_t = 0.258 \text{m}^2$$

$$\text{Factor de ensuciamiento interno} = f_{s_i} = 0.009 \left(\frac{\text{W} \cdot \text{m}^2}{^\circ\text{C}}\right)$$

$$\text{Factor de ensuciamiento externo} = f_{s_e} = 0.002 \left(\frac{\text{W} \cdot \text{m}^2}{^\circ\text{C}}\right)$$

$$\text{Temperatura de agua de alimentación} = T_{aal} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura de vapor} = T_{vap} = 170 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# Tubos de segundo paso =

$$\text{Diámetro exterior del domo} = D_{ext \text{ dom}} = 1.3 \text{m}$$

$$\text{Espesor de la capa aislante} = E_{aislante} = 0.07 \text{m}$$

$$\text{Espesor del recubrimiento del latón} = E_{laton} = 0.009 \text{ m}$$

$$\text{Emisividad} = \epsilon = 0.32$$

$$T_{\text{promedio de la coraza}} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{promedio tapa frontal}} = 49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{promedio tapa trasera}} = 88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$D_{\text{exterior del domo}} = 1,3 \text{m}$$

$$D_{\text{exterior del aislante}} = 1,282 \text{m}$$

$$D_{\text{interior del aislante}} = 1,142 \text{m}$$

$$D_{\text{interior del domo}} = 1,142 \text{m}$$

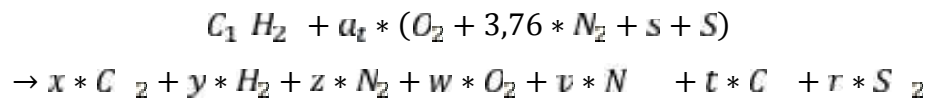
$$E_{\text{refractario tapa anterior}} = 0,1 \text{m}$$

$$E_{\text{acero tapa anterior}} = 0,015 \text{m}$$

DIRECTORIO DE ECUACIONES PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DE UN CALDERO.

ANÁLISIS DE GASES.

Ecuación estequiometria con el análisis de gases de TRATAGUAS realizado en el Hospital



Elemento	Ecuaciones	Resultado
C	$12 = x + t$	$x = 12 - t$
H <sub>2</sub>	$13 = y$	$y = 13$
O <sub>2</sub>	$a_t = x + \frac{y}{2} + w + \frac{v}{2} + \frac{t}{2} + r;$	$a_t = \dots$
N <sub>2</sub>	$a_t * 3,76 = z + \frac{v}{2}$	$z = a_t * 3,76 - \frac{v}{2}$
S	$a_t * s = r$	$s = \frac{r}{a_t}$

RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE

$$\frac{A}{C} = \frac{m_a}{m_{cc}}$$

$$\frac{A}{C} = \frac{a_t * (1 + 3,76)k * 29 \frac{k}{k}}{(C)k * 12 \frac{k}{k} + (H_2)k * 2 \frac{k}{k} + (s)k * 32 \frac{k}{k}}$$

DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO

$$P_v = \left( \frac{N_v}{N_p_{uc}} \right) P_p$$

$$P_v = \left( \frac{(y)k}{((x) + (y) + (z) + (w) + (v) + (t) + (r))k} \right) 101,0108 k$$

## TEMPERATURA DE LLAMA ADIABÁTICA

$$N_r = r$$

$$N_p = p$$

$$\sum N_r * \left( h_f^\circ + \overline{h_r} - \overline{h_{(2, K)}}^\circ \right)_r = \sum N_p * \left( h_f^\circ + \overline{h_p} - \overline{h_{2, (K)}}^\circ \right)_p$$

## CALOR DE SALIDA (Q SALIDA)

$$Q_s = \sum N_r * \left( h_f^\circ + \overline{h_r} - \overline{h_{(2, K)}}^\circ \right)_r - \sum N_p * \left( h_f^\circ + \overline{h_p} - \overline{h_{2, (K)}}^\circ \right)_p$$

## FLUJO MÁSICO DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE DEL CALDERO

$$A/C = \frac{m_a}{m_{cc}}$$

$$m_g = A/C * E/A + 1$$

$$E/A = \frac{w}{x + y + z + w + v + t + r}$$

## CALOR PROVOCADO POR EL COMBUSTIBLE

$$\frac{\dot{Q}_{cc}}{\dot{m}_{cc}} = \frac{P}{C} = \frac{r \cdot c_i}{c_c} \cdot \dot{m}_{cc} * \dot{m}_{cc}$$

## EXERGÍA (TRABAJO REVERSIBLE)

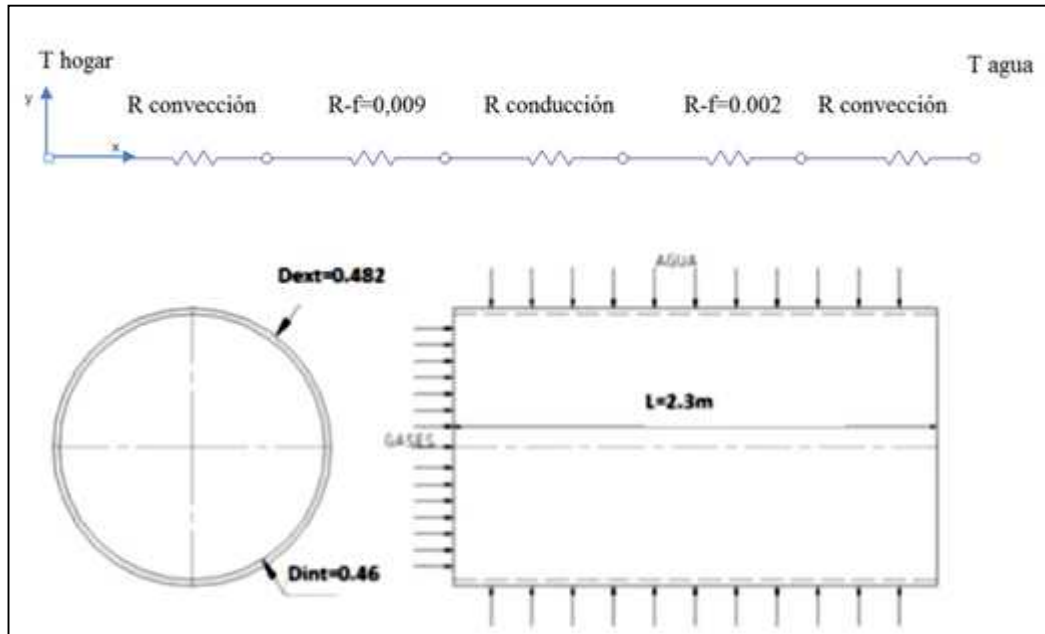
$$S_t = N_t * \bar{s}_t(T, P_t) = N_t * (\bar{s}_t^\circ(T, P_0) - R_u * \ln(y_t * P_{tu}))$$

$$S_g = S_p - S_{r_i}$$

$$\dot{S} = \dot{N} * S_g$$

$$\dot{S}_g = \frac{\dot{m}_{cc}}{M_{cc}} * S_g$$

**PÉRDIDAS EN EL HOGAR Y EL BANCO DE TUBOS EL CALDERO  
PRIMERA FASE DEL CALDERO (HOGAR DEL CALDERO)**



**Figura 26: Transferencia de calor en hogar de la caldera**

Pérdidas por convección externa forzada en el hogar del caldero

$$T_f = \Delta T_{L1} = \frac{(Th_1 - T_2) - (Th_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{Th_1 - T_2}{Th_2 - T_1}\right)}$$

Donde:

$$Th_1 = T_{\text{ext}} \quad d e \quad = T_{\text{ext}} \quad d l l \quad a \quad \text{áti}$$

$$Th_2 = T_{\text{ext}} \quad d s \quad = T_{\text{ext}} \quad a \quad \text{áli} \quad d g$$

$$T_1 = T_{\text{ext}} \quad d e \quad d e \quad a \quad a \quad c$$

$$T_2 = T_{\text{ext}} \quad d s \quad d v$$

$$k \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right); \rho \left( \frac{k}{m^3} \right); v \left( \frac{m^2}{s} \right); P$$

$$C_g = \frac{\dot{m}_g}{\frac{\sum p_p}{\# p}}$$

$$V_g = \frac{C_g \quad g \quad es}{A_{in} \quad n_o}$$

$$R_g = \frac{V_g \quad g \quad * \quad D_{L1} \quad n_o}{A_{in} \quad n_o}$$

$$N_g = C * R_g^u * P^{1/3}$$

**Nota:** Nusselt es diferente dependiendo del valor de Reynolds

**Cuadro 18:**

**Valores de Nu.**

	<b>C</b>	<b>u</b>
<b>N (0,4 – 4)</b>	0,989	0,33
<b>N (4 – 4 )</b>	0,911	0,385
<b>N (4 – 4 )</b>	0,683	0,466
<b>N (4 – 4 )</b>	0,193	0,618
<b>N (4 – 4 )</b>	0,027	0,805

**Fuente:** (Cengel, 2003)

$$h_g = \frac{N_g \times k_g}{L_{ti} \quad no}$$

$$h_{t \quad g} = \frac{\sum h_g}{\# p}$$

$$R1 = \frac{1}{h_{t \quad g} \times S_{ti} \quad t}$$

Pérdidas por conducción en la pared del hogar

$$R2 = \frac{\ln\left(\frac{D_e \quad t}{D_{ti}}\right)}{2 * u * k_a * L_t}$$

Pérdidas por convección natural en la parte exterior del hogar

$$T_f = \frac{T_v + T_a \quad i}{2}$$

**Nota:** Buscar en tablas los siguientes coeficientes del agua usando la temperatura Tf.

$$A = L \dot{q} \quad s$$

$$\beta \left( \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right); k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right); \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right); \nu \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right); P$$

$$G \quad h_{0a} = G_a = \frac{g * \beta * (T_{\psi} + T_a) * D_e^3 * \rho_a}{\mu_a^2}$$

$$R \quad h_a = R_a = G \quad h_{0a} * P_a$$

$$N_a = N_a = \left( 0,6 + 0,387 * \left( \frac{R_a^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{P_a} \right)^{\frac{9}{4}} \right)^{\frac{8}{5}}} \right) \right)^2$$

$$h_a = \frac{N_a * k_a}{D_e \quad n_o}$$

$$R3 = \frac{1}{h_a * S_{e \quad a \quad n_o}}$$

$$R = R1 + \frac{f_{se \quad i}}{S_{i \quad a \quad n_o}} + R2 + \frac{f_{se \quad e}}{S_{e \quad a \quad n_o}} + R3$$

$$Q_s = \frac{T_e - T_{\psi}}{R}$$

$$\Delta Q_s = Q_{cc} - Q_s$$

$$T_{sali} = T_e - T_e * \exp \left( - \left( \frac{Q_e - Q_s}{Q_e} \right) \right)$$

SEGUNDA FASE DEL CALDERO

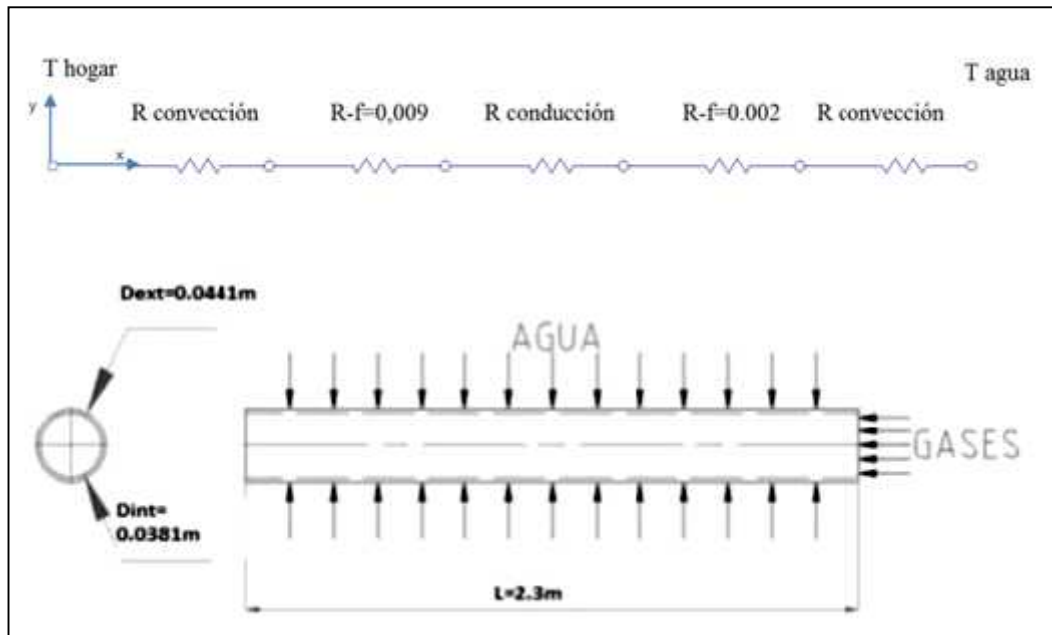


Figura 27: Transferencia de calor en la segunda fase de la caldera

$$T_s = T_e$$

$$Q_s = Q_e$$

Pérdidas por convección externa forzada en el banco de tubos del caldero.

$$T_f = \Delta T_{li} = \frac{(T_h - T_{c2}) - (T_h - T_{c1})}{\ln \left( \frac{T_e - T_{c2}}{T_e - T_{c1}} \right)}$$

Dónde:

$$T_e = T_h = T_{c1}$$

$$T_h = T_{c2}$$

$$T_{c1} = T_{c2}$$

$$T_{c2} = T_{c1}$$

$$k \left( \frac{W}{m \times ^\circ C} \right); \rho \left( \frac{k}{m^3} \right); v \left( \frac{m^2}{s} \right); P$$

$$C_g = \frac{\dot{m}_g}{\frac{\sum \rho_p}{\#_p} * \#_{t_s} * \dot{p}}$$

$$V_{d_g} = \frac{C_g}{A_{i_t}}$$

$$R_g = \frac{V_{d_g} * D_{i_t}}{A_{i_t}}$$

$$N_g = C * R_g * u * P^{1/3}$$

**Nota:** Nusselt es diferente dependiendo del valor de Reynolds

**Cuadro 19:**

**Valores de Nu.**

	<b>C</b>	<b>u</b>
$N_{(0,4-4)}$	0,989	0,33
$N_{(4-4)}$	0,911	0,385
$N_{(4-4)}$	0,683	0,466
$N_{(4-4)}$	0,193	0,618
$N_{(4-4)}$	0,027	0,805

**Fuente:** (Cengel, 2003)

$$h_g = \frac{N_g * K_g}{D_{i_t}}$$

$$h_{t_g} = \frac{\sum h_g}{\#_p}$$

$$R1 = \frac{1}{h_{t_g} * S_{i_t}}$$

Pérdidas por conducción en la pared del hogar

$$R_2 = \frac{l_t \left( \frac{D_e - t}{D_i - t} \right)}{2 * \pi * L_t}$$

Pérdidas por convección natural en la parte exterior del hogar



$$T_f = \frac{T_v + T_a}{2}$$

**Nota:** Buscar en tablas los siguientes coeficientes del agua usando la temperatura  $T_f$

$$A = \text{Líquido}$$

$$\beta \left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right); k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right); \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right); \nu \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right); P$$

$$G_{ho_a} = G_a = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_v + T_a) \cdot D_e^3 \cdot \rho_a}{\mu_a^2}$$

$$R_{ha} = R_a = G_{ho_a} \cdot P_a$$

$$N_a = N_a = \left( 0,6 + 0,387 \cdot \left( \frac{R_a^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{P_a} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{2}}} \right) \right)^2$$

$$h_a = \frac{N_a \cdot k_a}{D_e \cdot \rho_a}$$

$$R3 = \frac{1}{h_a \cdot S_{e_a} \cdot \rho_a}$$

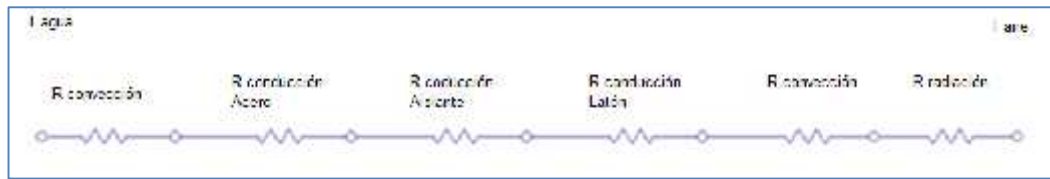
$$R = R1 + \frac{f_{se_i}}{S_{e_i} \cdot \rho_a} + R2 + \frac{f_{se_e}}{S_{e_e} \cdot \rho_a} + R3$$

$$Q_s = \frac{T_e - T_v}{R}$$

$$\Delta Q_s = Q_{cc} - Q_s$$

$$T_s = T_{e_{ad}} - T_e \cdot \exp \left( - \left( \frac{Q_e - Q_s}{Q_e} \right) \right)$$

## PERDIDAS DE CALOR EN EL EXTERIOR DE LA CALDERA



**Figura 28: Pérdidas de calor en el exterior de la caldera**

Pérdidas por convección natural en el interior de la coraza

$$h_a = \text{Míni} \left( h_{a \text{ e e n o}} ; h_{a \text{ e l t}} ; h_{a \text{ e l t}} \right)$$

$$R_a = \frac{1}{\frac{\pi * D_i * d_i}{4}^2} * \left( \frac{1}{h_a} + f_{se} \right)$$

$$Q_a = \frac{T_v - T_p}{R_a} \quad m \quad c$$

Pérdidas por conducción en la coraza

$$R_{c \text{ ón}} = \frac{1}{2 * \pi * L_c}$$

$$* \left( \frac{\ln \left( \frac{D_i \text{ a}}{D_i \text{ di}} \right)}{k_a \text{ z}} + \frac{\ln \left( \frac{D_e \text{ a}}{D_i \text{ a}} \right)}{k_a \text{ s}} + \frac{\ln \left( \frac{D_e \text{ di}}{D_e \text{ a}} \right)}{k_l \text{ ón}} \right)$$

$$Q_{c \text{ ón}} = \frac{T_v - T_{p1}}{R_{c \text{ ón}}} \quad m \quad c$$

Pérdidas por convección natural en el exterior de la coraza

$$T_f = \frac{T_a - T_p}{2} \quad m \quad c$$

**Nota:** Buscar en tablas los siguientes coeficientes del aire usando la temperatura  $T_f$

$$\beta \left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right); k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right); \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right); \nu \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right); P$$

$$G \quad h_{0a} = G_a = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{pm} \cdot c + T_a) \cdot D_e^3 \cdot \rho_a^2}{\mu_a^2}$$

$$R \quad h_a = R_a = G \quad h_{0a} \cdot P_a$$

$$N_a = N_a = \left( 0,6 + 0,387 \cdot \left( \frac{R_a^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{P_a} \right)^{\frac{9}{4}} \right)^{\frac{8}{5}}} \right) \right)^2$$

$$h_a = \frac{N_a \cdot k_a}{D_e \cdot c}$$

$$R_a = \frac{1}{h_a \cdot S_{e \cdot a \cdot d \cdot i}}$$

$$Q_a = \frac{T_{pm} \cdot c - T_a}{R_a}$$

Pérdidas de calor por radiación

$$Q_{r \text{ ac ón}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot D_e \cdot d \cdot i \cdot L_c) \cdot \left( (T_{pm} \cdot c + 273)^4 + (T_a + 273)^4 \right)$$

Pérdida de calor total

$$Q_c = Q_a + Q_{c \text{ ón}} + Q_a + Q_{r \text{ ón}}$$

## PÉRDIDAS DE CALOR EN LA TAPA DELANTERA

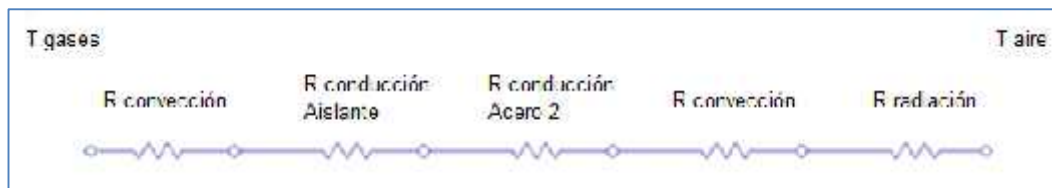


Figura 29: Pérdidas de calor en la tapa delantera

Pérdidas por convección forzada dentro de la tapa delantera

$$h_g = \text{Mini} \left( h_{g \text{ e e no}} ; h_{g \text{ e t t}} ; h_{g \text{ e t t}} \right)$$

$$R_g = \frac{1}{\frac{\pi * D_e \cdot d_i}{4}} * \left( \frac{1}{h_g} + f_{se} \right)$$

$$Q_g = \frac{T_f - T_a}{R_g}$$

Pérdidas por conducción en la tapa delantera

$$R_{c \text{ ón}} = \frac{1}{\frac{\pi * D_e \cdot d_i}{4}} * \left( \frac{E_r \cdot t_a}{k_r} + \frac{E_a \cdot t_a}{k_a \cdot 2} \right)$$

$$Q_{c \text{ ón}} = \frac{T_{S \text{ a no}} - T_{p \text{ m t f}}}{R_{c \text{ ón}}}$$

Pérdidas por convección natural en la tapa delantera

$$T_f = \frac{T_a - T_{p \text{ m t f}}}{2}$$

**Nota:** Buscar en tablas los siguientes coeficientes del aire usando la temperatura \$T\_f\$

$$\left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right); k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} \right); \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right); \nu \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right); P$$

$$G_{h_o a} = G_a$$

$$= \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{p m t f} - T_a) \cdot D_e^3 \cdot d_i \cdot \rho_a^2}{\mu_a^2}$$

$$R_{h_a} = R_a = G_{h_o a} \cdot P_a$$

$$N_a = N_a = \left( 0,6 + 0,387 \cdot \left( \frac{R_a^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{P_a} \right)^{\frac{9}{4}} \right)^{\frac{8}{2}}} \right) \right)^2$$

$$h_a = \frac{N_a \cdot k_a}{D_e \cdot d_i}$$

$$R_a = \frac{1}{h_a \cdot \frac{\pi \cdot D_e \cdot d_i^2}{4}}$$

$$Q_a = \frac{T_{p m t f} - T_a}{R_a}$$

Pérdidas de calor por radiación

$$Q_{r \text{ ón}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot \left( \pi \cdot D_e \cdot d_i \cdot (E_{r t a} + E_{a t a}) \right) \cdot \left( (T_{p m t f} + 273)^4 - (T_{a \text{ en}} + 273)^4 \right)$$

Pérdida de calor total

$$Q_{t a} = Q_a + Q_{c \text{ ón}} + Q_a + Q_{r \text{ ón}}$$

## PÉRDIDAS DE CALOR EN LA TAPA POSTERIOR

Pérdidas por convección forzada dentro de la tapa posterior

$$h_g = \text{Mín} (h_{g e e n o} ; h_{g e t t} ; h_{g e t t})$$

$$R_g = \frac{1}{\frac{\pi \cdot D_e \cdot d_i^2}{4}} \cdot \left( \frac{1}{h_g} + f_{s e i} \right)$$

$$Q_g = \frac{T_{p m t p s t} - T_a}{R_g}$$

*Pérdidas por conducción en la tapa posterior*

$$R_{c1} = \frac{1}{\frac{\pi * D_e * d_t}{4}} * \left( \frac{E_r}{k_r} + \frac{E_a}{k_a} \right)$$

$$Q_{c1} = \frac{T_{s-p} - T_{p-m}}{R_{c1}}$$

*Pérdidas por convección natural en la tapa posterior*

$$T_f = \frac{T_a + T_{p-m}}{2}$$

**Nota:** Buscar en tablas los siguientes coeficientes del aire usando la temperatura  $T_f$

$$\beta \left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right); k \left( \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} \right); \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right); \nu \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right); P$$

$$G_{Ra} = G_a = \frac{g * \beta * (T_{p-m} - T_{a-bi}) * D_e^3 * \rho_a}{\mu_a^2}$$

$$R_{ha} = R_a = G_{Ra} * P_a$$

$$N_a = N_a = \left( 0,6 + 0,387 * \left( \frac{R_a^{1/4}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{P_a} \right)^2 \right)^{1/4}} \right) \right)^2$$

$$h_a = \frac{N_a * k_a}{D_e}$$

$$R_a = \frac{1}{h_a * \frac{\pi * D_e}{4}}$$

$$Q_a = \frac{T_{p-m} - T_a}{R_a}$$

*Pérdidas de calor por radiación*

$$Q_{r \text{ ón}} = \epsilon * \sigma * \left( \pi * D_e^2 * (E_{r \text{ ón}} + E_{a \text{ ón}}) * \left( (T_{p \text{ ón}} + 273)^4 * (T_{a \text{ ón}} + 273)^4 \right) \right)$$

*Pérdida de calor total*

$$Q_{t \text{ ón}} = Q_a + Q_{c \text{ ón}} + Q_{a \text{ ón}} + Q_{r \text{ ón}}$$

*PÉRDIDAS DE CALOR DEBIDAS AL AGUA EN EL COMBUSTIBLE,  $H_w$*

$$H_w = \left( W_m * \left( 603,65 + (0,26 * t_g - t_f) \right) \right) * 4,1868 * \dot{m}_{cc}$$

*Datos:*

$$H_w = \text{Pérdida de calor debida al agua en el combustible} \quad (kcal)$$

$$t_g = T_{\text{de la gas}} \quad \text{y} \quad t_f = T_{\text{de la f}} \quad \text{e} \quad W_m = \text{Pérdida de calor debida al agua en el combustible} \quad (kcal)$$

*PÉRDIDAS DE CALOR DEBIDAS A LA HUMEDAD EN EL AIRE DE COMBUSTIÓN,  $H_A$*

$$H_A = \left( W_u * (0,26 * t_g - t_a) \right) * 4,1868 * \dot{m}_g$$

$$H_A = (kcal)$$

$W_u$

$$= \left( p_{\text{de vapor de agua}} \text{ a } 25^\circ C \right) * \left( p_{\text{de agua}} \text{ a } 25^\circ C \right)$$

$$t_a = T_{\text{de la a}}$$

$$t_g = T_{\text{de la gas}} \quad \text{y} \quad t_f = T_{\text{de la f}}$$

El peso de aire seco requerido por kg de combustible quemado:

$$C = \frac{W_f * C_f - W_y * C_y}{C_{cc}} * 100$$

$$W_f = P \text{ d cc } q : 6435,18 \text{ k (D d cc )}.$$

$$C_f = \% \text{ d c}_1 \text{ d a áli f }.$$

$$W_y = p \text{ d c}_1.$$

$$C_y = \% \text{ d c}_1 \text{ c}_1 \text{ e l c}_1 \text{ s úna áli f } 0\%$$

$$C = C \text{ e íf d cc } 2,2 \frac{\text{k}}{\text{k} * ^\circ\text{C}}$$

Calculamos el peso de gases secos en la chimenea  $W_d$  :

$$W_d = \left( \frac{4 * C_2 + O_2 + 700}{3 * (C_2 + C)} \right) * C_1$$

**PÉRDIDAS DE CALOR POR LOS GASES SECOS DE LA CHIMENEA**

$$H_c = W_d * C * (t_y - t_f)$$

**PÉRDIDA DE CALOR DEBIDO AL HIDRÓGENO EN EL COMBUSTIBLE QUE FORMA VAPOR DE AGUA,  $H_H$**

$$H_h = (9 * W_h * (603,65 + (0,26 * t_g) - t_f)) * 4,1868 * m_g$$

$$t_g = T \text{ d l g q s d l c }.$$

$$t_f = T \text{ d cc y á e e c }.$$

$$W_h = P \text{ d h i óg e e a áli f }.$$

$$H_h = (k )$$



## PÉRDIDAS DEBIDAS A LOS COMBUSTIBLES INQUEMADOS $H_u$

Debido a insuficientes aire o mezcla pobre aire / combustible.

$$H_u = \left( \frac{C}{C + C_2} * 1016 * C_1 \right) * 4,1868 * \dot{m}_g$$

$$H_u = (k \quad )$$

## PÉRDIDAS POR PURGAS

$$p = p$$

$$t = t_i \quad d \quad f_i$$

$$D = \text{día} \quad d \quad t_i \quad ía$$

$$v_g = d \quad a \quad l \quad t \quad e \quad d \quad s \quad d \quad l \quad g$$

Área de la tubería de purgas

$$\hat{A}_r = \frac{n * D^2}{4}$$

$$V_l = A * L$$

$$C_p = \left( \frac{k}{k} \right) @ T_s \quad a \quad v$$

Flujo másico de las purgas

$$m = \frac{V}{v_g}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{t} * p$$

$$Q = (m * C * \Delta T) * 4,1868 * \dot{m}_g$$

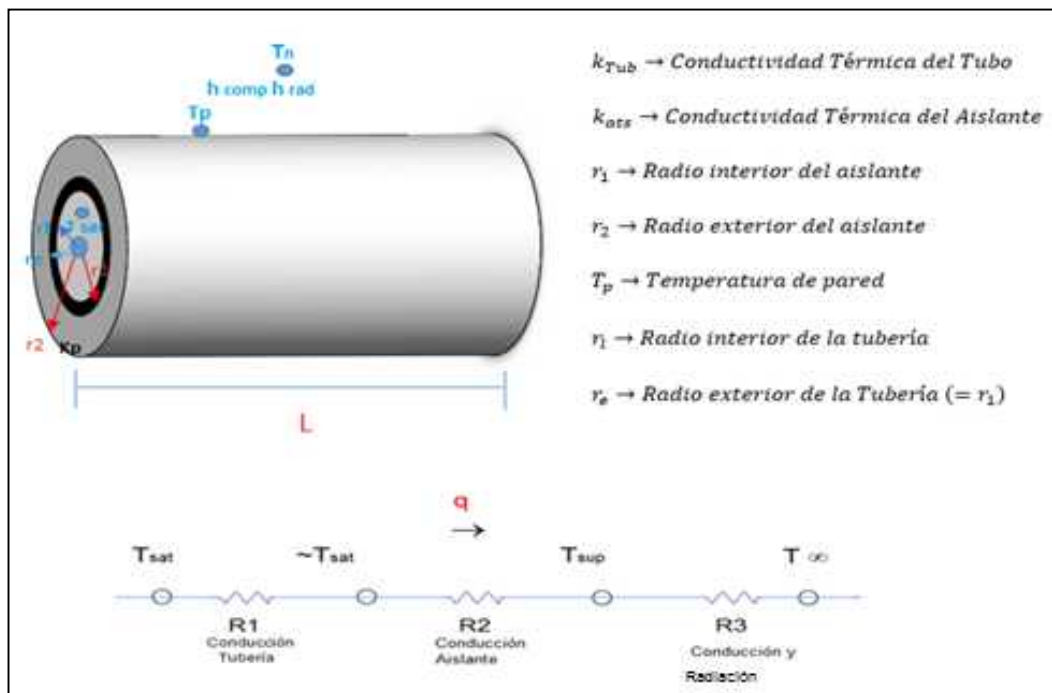
$$Q = (k \quad )$$

EFICIENCIA DEL CALDERO

$$E = \frac{(Q_e - P \cdot r \cdot d \cdot c)}{Q_e}$$

**CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN Y LÍNEA DE CONDENSADO.**

Para realizar el debido cálculo de las pérdidas de calor en tuberías se manejará el esquema de resistencias térmicas. (Incropera, 1996)



**Figura 30: Transferencia de calor en tubería**  
 Fuente: (Incropera F, 1996, pp. 78-79)

$$r_2 = r_1 + e_a$$

$$r_1 = r_i + e_t \quad (m)$$

$$r_2 = r_1 + e_a$$

$$E = \frac{Q_e - P \cdot r \cdot d \cdot c}{Q_e}, r_2 = r_1 + y R_2 = 0$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción de tubería ( $R_1$ )

$$R_1 = \frac{r_2 * \ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{k_t}$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción del aislante ( $R_2$ )

$$R_2 = \frac{r_2 * \ln\left(\frac{r_2}{r_i}\right)}{k_a}$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección y radiación ( $R_3$ )

$$h_r = \frac{\varepsilon * \sigma * (T_P^4 - T_r^4)}{(T_P - T_r)}$$

Para determinar el  $h_c$ , se consideró convección natural en un cilindro horizontal.

$$T_f = \frac{T_P + T_r}{2}$$

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

$$R_L = \frac{D^3 * g * \beta * \Delta T}{\nu * \alpha}$$

$$N = \left[ 0,60 + \frac{0,83 * R_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{P} \right)^{9/1} \right]^{8/2}} \right]^2$$

$$h_c = \frac{N * k}{D}$$

$$R_3 = \frac{1}{h_c + h_r}$$

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$Q = U * A * (T_o - T_r)$$

### CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CALOR EN TANQUE DE CONDENSADO

Se utilizará relaciones (UPME) para realizar el cálculo de calor de la pérdida de calor y la temperatura en la superficie del tanque de condensado.

1. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente,  $h_c$  (W/m<sup>2</sup>K):

$$h_c = 3,0075 * C * \left[ \frac{1,11}{t_s + t_a - 510,44} \right]^{0,181} * [1,8 * (t_s - t_a)]^{0,266}$$

$$* (1 + 7,9366e - 4 * V)^{0,5}$$

2. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación,  $h_R$  (W/m<sup>2</sup>K):

$$h_R = 0,9824 * 10^{-8} * E_m * \frac{t_a^4 - t_s^4}{t_a - t_s}$$

3. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor,  $h_s$  (W/m<sup>2</sup>K):

$$h_s = h_c + h_R$$

4. Cálculo del flujo de calor por unidad de área,  $q$  (W/m)

$$q = \frac{t_o - t_a}{\left[ \left( \frac{E}{k_a} \right) + \left( \frac{1}{h_s} \right) \right]}$$

5. Verificación de la temperatura de superficie,  $t_{sc}$  (K):

$$t_{s_1} = t_{a_1} + \frac{q}{h_{s_1}}$$

6. Convergencia de la temperatura de superficie: si  $t_{sup}=t_{sc}$ , por lo tanto las pérdidas de calor son igual a  $q$  y su temperatura en la superficie aislada es  $t_{sc}$ . Si fuese lo contrario, hacer  $t_{sup}=t_{sc}$  y regresar al punto N° 1 del procedimiento del cálculo para superficies planas.

## CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CALOR EN TRAMPAS VAPOR Y FUGAS

### TRAMPAS PARA VAPOR

Desde el momento que el vapor abandona la caldera, este fluido empezara a trasferir parte de su energía a otras superficies que tengan menor temperatura, al provocarse este fenómeno una parte del vapor se condensara y por tanto se convertirá en agua pero a la misma temperatura. La combinación de estos dos fluidos hace que el flujo de calor sea menor, ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor. (UPME)

Una trampa de vapor es un elemento que tiene como principal función eliminar condensados, además de tener cualidades adicionales como la de eliminar aire y otros gases no condensables y con esto prevenir perdidas de vapor.

- **Eliminación de condensado.** El condensado debe trasladarse siempre de manera rápida y completamente a lo largo de la trampa para vapor para obtener con esto un mejor aprovechamiento de su energía térmica.

- **Eliminar aire y otros gases no condensables.** El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor, tomando en cuenta que el O<sub>2</sub> y otros gases generan corrosión.
- **Prevenir pérdidas de vapor.** El vapor no podrá pasar hasta que este haya cedido la mayor parte de energía que contiene y sus pérdidas deben ser mínimas en cuanto la trampa libera el vapor condensado, aire y gases no condensables.

El vapor que se fugue por una línea de vapor en malas condiciones se podrá calcular mediante la siguiente fórmula:

$$W_v = \frac{\left\{ \left[ \frac{0,8 * 0,4118 * \pi}{4} \right] * \left( \frac{D}{25,4} \right)^2 * (P * 14,502) \right\} * 0,4536}{\{[1,8 * (T + 273,15)]\}^{0,5}}$$

Dónde:

$$W_v = \text{Volumen de vapor que se fuga, } k / s$$

$$D: \text{diámetro de la línea de vapor, } m$$

$$P: \text{presión de vapor en la línea, } b$$

$$T: \text{temperatura de vapor en la línea, } ^\circ C$$

Se deberá tomar en cuenta para la realización de este cálculo, la descarga de la trampa de vapor es a la presión atmosférica, con lo cual deberemos tener una estimación diferente de ahorro y podemos tener fallas en el cálculo.

Si en caso no descarga a la presión atmosférica, la presión del vapor en la tubería tomará el valor de la diferencia entre la presión de la tubería y la presión de la línea de condensados.

*Calor perdido por las Trampas para Vapor.*

$$Q_v = W_v * \Delta h_v$$

Dónde:

$$Q_v = C \quad p \quad e \quad l \quad i \quad p \quad v \quad , K / s$$

$$W_v = V \quad q \quad s \quad f \quad , k / s$$

$$\Delta h_v = h_{vf} - h: E \quad í \quad a \quad d \quad v \quad e \quad l \quad i \quad n \quad , K / k$$

h del agua a la temperatura del sistema por donde se fuga el vapor, por lo cual es igual a  $h_{a \text{ reposición}}$ , *entalpía del agua de reposición, si no hay retorno de condensados.*

h del agua a la temperatura del sistema donde se fuga el vapor, es igual a  $h_a$ , *entalpía del agua de alimentación, si se obtiene retorno de condensado.*

### **FUGAS.**

Uno de los problemas más comunes es la pérdida de calor por fugas de vapor, para la superación de este problema se da un mantenimiento mínimo con esto nos permite un ahorro importante en el hospital. Para realizar el cálculo de una fuga ya sea en cualquiera de los elementos se determina mediante el diámetro equivalente aproximado de manera de tener un cuantificación de la pérdida de energía por fuga.

En el siguiente cuadro se puede establecer de manera aproximada el flujo de vapor fugado. (Jiménez, 2015)

**Cuadro 20:****Flujo de vapor fugado por diámetro de la fuga.**

Flujo de vapor fugado (kg/h)										
Diámetro de la fuga (mm)	Presión de vapor (bar)									
	1.0	1.8	3.5	5.3	7.0	8.8	10.5	14.0	17.5	21.0
0.79	0.32	0.43	0.70	0.96	1.23	1.50	1.77	2.32	2.86	3.36
1.59	1.27	1.73	2.77	3.86	4.91	6.00	7.09	9.23	11.41	13.55
2.38	2.86	3.84	6.27	8.68	11.09	13.50	15.95	20.77	25.64	30.45
3.18	5.09	6.82	11.14	15.45	19.73	24.05	28.36	36.95	45.45	54.09
3.97	8.00	10.68	17.41	24.14	30.86	37.59	44.27	57.73	70.91	84.55
4.76	11.50	15.36	25.05	34.73	44.41	54.09	63.64	83.18	102.73	121.82
5.56	15.64	20.91	34.09	47.27	60.45	73.64	86.82	113.18	139.55	165.91
6.35	20.45	27.32	44.55	61.82	78.64	96.36	113.64	147.73	182.27	216.82
7.14	25.86	34.59	56.36	78.18	100.00	121.82	143.64	187.27	230.45	274.09
7.94	31.95	42.73	69.55	96.55	123.64	150.45	177.27	230.91	285.00	338.64

Fuente: (Jiménez, 2015, pág. 150)

Cálculo de las pérdidas de calor en fugas:

$$Q_f = W_v * \Delta h$$

Dónde:

$$Q_f = C \cdot p \cdot l \cdot f \quad , k / s$$

$$W_v = F \cdot d \cdot v \cdot f \quad , k / s$$

$$\Delta h = h_v - h_a$$

$$h_v = E \cdot i \cdot a \cdot d \cdot v \cdot f \quad , k / k$$

$$h_a = E \cdot i \cdot a \cdot t \cdot e \quad d \cdot a \quad d \cdot a \quad \text{ón}, k / k$$

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS DE TUBERÍAS.

En las tuberías del hospital encontramos varias clases de accesorios como pueden ser, codo válvulas, té, además de elementos de medición.



Todos estos elementos tienen valores de pérdidas debido al terminado del interior de cada elemento y su longitud. Algunos elementos podemos aislarlos y otros no podrán ser aislados en el siguiente cuadro se muestran los valores aproximados de las pérdidas originados por los accesorios.

**Cuadro 21:**

**Pérdidas debido a los accesorios en tuberías.**

NATURALEZA DEL AISLAMIENTO	DIÁMETRO INTERIOR DE LA TUBERÍA, mm	LONGITUD EQUIVALENTE DE LA TUBERÍA EN METROS PARA UNA TEMPERATURA DE:	
		100°C	400°C
Totalmente desnudo	100 500	6 9	16 26
1/4 desnudo 3/4 aislado	100	2.5	5
1/4 desnudo 3/4 aislado	500	3	7.5
1/3 desnudo 2/3 aislado	100	3	6
1/3 desnudo 2/3 aislado	500	4	10

**Fuente:** (UNME, s.f., pág. 151)

- El cuadro obtiene datos de pérdidas de calor las cuales corresponden a válvulas.
- Pares de Bridas: si este elemento se encuentra desnudo la pérdida será igual a la tercera parte en la válvula del mismo diámetro.

### 3.3 Desarrollo del Modelo Matemático del Sistema Térmico

Mediante el modelo matemático nos permitirá acceder al balance del sistema térmico con la cual simularemos resultados mediante la variación de variables asociadas a acciones y elementos que se puedan incluir para elevar la eficiencia del sistema térmico.

Dicho modelo matemático ha sido desarrollado basándose en el programa Microsoft Excel el cual ayudará a recopilar datos de todas las variables e ir obteniendo diferentes resultados que cuantifican la eficiencia del sistema térmico en mención.

La hoja de cálculo del modelo matemático será parte de los anexos del presente estudio.

### **3.4 Simulación de Resultados**

En este parámetro se trata de modificar variables en función a la propuesta del mejoramiento energético hasta encontrar el punto exacto de desempeño energético estable y óptimo.

Este modelo matemático ayudara para un mejor manejo de los sistemas de vapor en cualquier institución ya que solo es necesario la introducción de datos reales a la hoja de cálculo para tener el resultado real y también y probando resultados de posibles cambios en post de la eficiencia energética.

## CAPITULO IV

### 4 ELABORACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA EL HOSPITAL

#### 4.1 Formulación de Soluciones Operativas de Inversión

Obtenidos varios resultados en el capítulo 3, las soluciones para alcanzar el punto óptimo de rendimiento térmico se detallan a continuación.

- Reducción de pérdidas de calor por falta de aislamiento térmico en tubería desnuda.

Se recomienda el uso de cañuelas de aislamiento térmico con material de lana de vidrio y recubrimiento de hoja de aluminio con espesor de 25.4mm para tubería de diámetro de 38.1mm, en adelante manteniendo el aislamiento térmico original mediante esta implementación se obtiene una reducción del 78.4% y por pérdidas de calor en tubería sin aislamiento.

#### Cuadro 22:

##### Pérdidas de calor en tubería desnuda

Diámetro D (mm)	Longitud (m)	E.aislante (mm)	Tsup.desnud °C	PERDIDAS Q (W)
63,5	1	38.1	155.7	535.22
50.8	6	38.1	107.3	795.75
38.	48	25.4	147.8	7487.05
12.7	10	25.4	149.7	668.07
Qtotal (W)				<b>9486,09</b>

**Cuadro 23:****Pérdidas de calor en tubería desnuda luego de aislamiento térmico.**

<b>Diámetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>E. aislante</b>	<b>F. pérdidas</b>	<b>Perdidas</b>
<b>D (mm)</b>	<b>(m)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(W/m)</b>	<b>Q(W)</b>
<b>63.5</b>	1	38.1	37,85	37.85
<b>50.8</b>	6	38.1	35.22	210.36
<b>38.1</b>	48	25.4	36.06	1745.28
<b>12.7</b>	10	25.4	21.06	210.59
<b>Qtotal(W)</b>				<b>2204.08</b>

**Cuadro 24:****Costo de aislamiento térmico de tubería.**

<b>Concepto</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
	<b>unidades</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>
<b>Cañuela de Ø12,7mm espesor aislante 25,4mm 0,91cm</b>	11	3.77	41.47
<b>Cañuela de Ø38,1mm espesor aislante 25,4mm 0,91cm</b>	50	5.4	270
<b>Cañuela de Ø50,8mm espesor aislante 38,1mm 0,91cm</b>	7	6.2	43.40
<b>Cañuela de Ø63,5mm espesor aislante 38,1mm 0,91cm</b>	2	7.5	15
<b>TOTAL (USD)</b>			<b>369,87</b>

- Reducción de pérdidas de calor por falta de aislamiento en el tanque de condensados.

Por el buen estado del aislamiento de dicho tanque únicamente se recomienda su mantenimiento periódico a fin de obtener un mayor tiempo de vida útil.

**Cuadro 25:****Perdida de calor en tanque de condensados.**

	Q. perdido (W)
Tanque sin aislamiento	3318.35
Con aislamiento	714.26

- Reducción de pérdidas de calor por fugas de vapor.

Para la eliminación de las pérdidas por fugas se ha iniciado un plan de mantenimiento general con personal capacitado y de mantenimiento del hospital dicho personal está conformado por técnico soldadores y mecánicos que realizarán las tareas de reparación y si lo amerita el caso el cambio de elementos en la línea de vapor.

**Cuadro 26:****Perdidas de calor por fugas.**

N fugas	d. fuga (mm)	Presión (bar)	Qp. Fuga (W)	Q perdido (W)
<b>4</b>	1,59	4	257.49	1029.96
<b>6</b>	0.79	4	64.73	388.38
<b>2</b>	2.38	4	581.71	1163.42
Qtotal perdido fugas				2581.76

**Cuadro 27:**  
**Costos de reparación de fugas.**

Concepto	Cantidades	Costo unitario	Costo total
	m	USD	USD
tubo de acero negro C/40 1/2 "	18	2.148	38.664
tubo de acero negro C/40 1,5"	30	5.103	153.09
tubo de acero negro C/40 2"	12	6.708	80.496
tubo de acero negro C/40 2.5"	6	10.02	60.12
accesorios de acero negro C/40 diferentes diámetros			300
Insumos			500
empaquetaduras de teflón planchas 0.5 x 0.5m	3	48	144
<b>TOTAL USD</b>			<b>1180.37</b>

- Reparación y mantenimiento de trampas de vapor en mal estado

Mediante recorrido e inspección visual en las mirillas y acústico se pudo observar y determinar trampas en muy mal estado que deberán ser reemplazadas y otras realizarlas mantenimiento.

**Cuadro 28:**  
**Pérdidas de calor en trampas de vapor.**

dia.linea (mm)	Presión bar	N° trampas	q perdido (W)	q perdido (W)
63,5	4	2	704,64	1409,28
50,8	4	1	704,64	704,64
38,1	4	1	28,19	28,19
12,7	4	4	84,56	338,24
<b>Q perdido (W)</b>				<b>2480,3500</b>

**Cuadro 29:****Costos de reemplazo de trampas de vapor.**

<i>Concepto</i>	<i>Cantidades</i>	<i>Costo Unitario</i>	<i>Costo Total</i>
	m	USD	USD
<i>trampa de vapor balde invertido 1/2"</i>	2	95,72	191,44
<i>trampa de vapor balde invertido 1.5"</i>	1	314,9	314,9
<i>trampa de vapor balde invertido 2"</i>	1	486,6	486,6
<i>trampa de vapor balde invertido 2.5"</i>	4	558,9	2235,6
<b>TOTAL (USD)</b>			<b>3228,54</b>

- Calibración de la combustión

Mediante la calibración de la combustión se desea lograr una reducción de 17.3 hasta 10 de A/C que es un valor óptimo recomendado para diésel II lo cual conlleva al aumento de la eficiencia de la combustión del 73.36 al 75.38%.

Con la disminución de exceso de aire se reduce el consumo de potencia de los ventiladores de tiro y bajan las pérdidas térmicas y por otro lado aumentamos la eficiencia de la caldera.

Cabe recalcar que es necesario el muestreo de análisis de gases de escape y monitorearlo trimestralmente.

**Cuadro 30:****Variación de la eficiencia en función de la relación A/C.**

A/C	EFICIENCIA (%)
<b>17.19</b>	73,36
<b>10</b>	75,38

**Cuadro 31:****Costos adquisición del equipo para análisis de gases.**

Concepto	Cantidades uni	Costo Unitario USD	Costo Total USD
<b>Adquisición</b>	1	1200	1250
TOTAL (USD)			1250

Una reducción de 8.4% en el exceso de aire en la combustión implica un aumento del 2% en la eficiencia de la caldera. Considerando que el caldero más antiguo tiene 25 años de servicio, el valor obtenido de eficiencia es muy bueno y no se requiere realizar ninguna otra implementación que implique una inversión mayor para el Hospital.

#### 4.2 Evaluación Técnico-económica de las oportunidades de ahorro en el Sistema Térmico

Diseñado el plan energético para lograr el punto óptimo de funcionamiento del sistema térmico, con las mejoras implementadas, se calcula el ahorro de combustible basado en la variación de la eficiencia.

##### Cálculo del ahorro en combustible.

- Consumo actual:

$$C_p = 6000 \text{ g / m} = 200 \text{ g / día} = 0.757 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$C_a = 629.82 \frac{K}{d}$$



- Cálculo del consumo luego de aplicación de plan de eficiencia energética:

$$Q_{cc} = \frac{Q_v}{e}$$

$$Q_{cc} = \frac{18312 \frac{M}{d}}{0,7538} = 24292,92 \frac{M}{d}$$

$$m_c = \frac{Q_{cc} \cdot \rho_u}{P} = \frac{19300,23 \frac{M}{d}}{43,10 \frac{M}{K}} = 563,64 \frac{K}{d}$$

- Ahorro en combustible:

$$\Delta m_c = m_c - m_{c0}$$

$$\Delta m_c = (629,82 - 563,64) \left( \frac{K}{d} \right)$$

$$\Delta m_c = 66,18 \left( \frac{K}{d} \right)$$

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} = \frac{66,18 \frac{K}{d}}{832 \frac{K}{m^3}} = 0,079 \frac{m^3}{d}$$

$$V_c = 20,87 \frac{g}{d}$$

$$C_{d \text{ cc}} = 0,9187 \frac{U}{g}$$

$$Aho (U) = 20,87 \frac{g}{d} * 0,9187 \frac{U}{g} = 19,17 \frac{U}{d} = 6998,24 \frac{U}{año}$$

- Nueva matriz energética de consumo de energía térmica.

$$C_a = 629,82 \frac{K}{d}$$

$$G_{ón d v} a = 7480 \frac{K}{d}$$

$$C_{\text{energética}} = 447.8 \frac{K}{d}$$

$$G_{\text{energética}} = 6684.2 \frac{K}{d}$$

**Cuadro 32:**

**Comparativo matriz energética de consumo de vapor.**

	Total	Lavandería	Cocina	Esterilización	ACS	Pérdidas
inicial	7480	1890	2340	550	500	2200
Con ef. energética	6684,2	1890	2340	550	500	1401.2

### 4.3 Costo de Implementación y Retorno de la Inversión

Para determinar el costo de implementación y retorno de la inversión, se calcula los indicadores financieros Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), estos dos indicadores nos darán la pauta para determinar la viabilidad del proyecto de eficiencia energética en el sistema térmico.

**Cuadro 33:**

**Costos de inversión en mejoras.**

INVERSIÓN EN MEJORAS	USD
Aislamiento térmico de tuberías	369,87
Aislamiento térmico del tanque de condensado	0
Reparación de fugas de vapor	1180.37
Reemplazo de trampas de vapor en mal estado	3228.54
COMPRA de equipo de análisis de humos	1250
<b>TOTAL</b>	<b>6028.78</b>

**Cuadro 34:****Flujo de caja generado por la implementación de mejoras y cálculo de TIR**

Designación	Año0	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5
<b>Inversión en mejoras</b>	-\$ 6.028,78					
<b>Ahorros en combustible</b>		\$ 6.998,24	\$ 6.998,24	\$ 6.998,24	\$ 6.998,24	\$ 6.998,24
<b>Contrato tratamiento de agua</b>		\$ 810,00	\$ 810,00	\$ 810,00	\$ 810,00	\$ 810,00
<b>Flujo bruto</b>		\$ 6.188,24	\$ 6.188,24	\$ 6.188,24	\$ 6.188,24	\$ 6.188,24
<b>Flujo acumulativo</b>		\$ 159,46	\$ 6.347,70	\$ 12.535,94	\$ 18.724,18	\$ 24.912,42
<b>Inversión total</b>	-6.028,78					
<b>TIR</b>	114%					
<b>VAN</b>	\$ 74.344,81					

<b>Año0</b>	-\$ 6.028,78
<b>Año1</b>	\$ 6.188,24
<b>Año2</b>	\$ 6.188,24
<b>Año3</b>	\$ 6.188,24
<b>Año4</b>	\$ 6.188,24
<b>Año5</b>	\$ 6.188,24
<b>TIR</b>	99%
<b>VAN</b>	\$ 18.685,58

$$P = \frac{6013,84}{6347,7} * 12 m = 11,34 m$$

Los indicadores económicos calculados TIR=99% comparado con la tasa de interés activa de 7.99% (BCE, 2015) y el PRI de 11 meses dan viabilidad al proyecto de mejoras propuesto dentro del programa de eficiencia energética en el sistema térmico del Hospital San Vicente de Paúl Ibarra.

#### 4.4 Estrategias de Ahorro Energético

Tomando en cuenta el presente trabajo se propone como estrategia energética lo siguiente:

- La calibración de la mezcla debe ser mantenida con un exceso de aire de alrededor de 10%. Este control necesita ser realizado periódicamente cada tres meses con el equipo adquirido por el hospital. Esta medida reducirá la temperatura de los gases de escape, transfiriendo menos cantidad de calor al exceso de aire y mayormente al vapor.

- Reponer el aislante perdido en las tuberías desnudas y así minimizar las pérdidas de calor por dichos espacio de tubería desnuda.
- Seguir con la gestión de mantenimiento mensual de las trampas de vapor para mantenerlas en buen estado.
- Mantener un registro de fallas, averías y reparaciones.
- Reparar las fugas de vapor existentes para así mermar las pérdidas del mismo.

Además de estas acciones cuantificadas por ser las más relevantes en cuanto a pérdidas de calor en el sistema térmico, se proponen éstas acciones estratégicas como parte del programa de eficiencia:

- Reducción del régimen de purgas de acuerdo a las recomendaciones de la empresa encargada del análisis químico del agua de alimentación a la caldera. En el Hospital San Vicente de Paul, el personal de mantenimiento en encuesta verbal realizada no comprende técnicamente la función de las purgas del sistema. Se debe capacitar a dicho personal conjuntamente con la empresa encargada para que el número de purgas y el tiempo de las mismas sea efectuada según la recomendación del plan de eficiencia energética. Un adecuado tratamiento de agua, reduce las purgas ya que reduce los sólidos disueltos en el agua de alimentación a la caldera.
- Mantenimiento anual de los tubos de fuego y hogar del caldero. Esta actividad actualmente es parte del programa de mantenimiento preventivo de las calderas y se ejecuta con normalidad.
- Mantenimiento preventivo del quemador, con sustitución de la boquilla del atomizador de combustible acuerdo a resultados de calibración de

la combustión. Una boquilla desgastada, atomiza en partículas más grandes el combustible con la consecuente ineficiencia en la quema de combustible.

- Supresión de tuberías de vapor que ya no están activas dentro del circuito térmico, con esto reducimos pérdidas de calor convectivas por transferencia superficial. En la evaluación inicial existen tuberías de vapor que están alimentadas y que ya no forman parte del circuito térmico como lo son las del quinto piso y la mayor parte de esterilización.

## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La eficiencia del caldero fue de 73.36% Y la del sistema de distribución fue de 84.54%, para una eficiencia general de 62.02% con una relación aire combustible de  $17.3 \frac{K (a)}{K (Ct)}$  y un calor generado por el combustible de 502.86 Kw
- Una vez realizados los cambios en cuanto a la mezcla aire combustible cercana a 10, la eficiencia del caldero subió a 75.07% y el sistema de distribución a 92.69% el calor generado por el combustible subió a 566Kw
- Las mayores pérdidas se dan por la existencia de tramos de tubería sin uso con suministro de vapor además de purgas innecesarias además de las perdidas por una mala calibración de mezcla aire combustible.
- La inversión de las mejoras será de \$ 6.028,78 Que corresponden a aislante térmico de tuberías reparación de fugas de vapor, tratamiento de agua de alimentación al caldero y compra del equipo para el análisis de humo del mismo.
- Dicha implementación tendrá un ahorro de \$ 6.998,24 al año
- El índice actual de desempeño energético del sistema térmico por cama es de  $12.32 \frac{M}{Ct} / \text{año}$  que están dentro de valores estándar a nivel internacional. Con la implementación del programa de eficiencia

energética este índice se redujo a  $10.91 \frac{MWh}{año}$  en la parte térmica.

Un programa de eficiencia energética integral debe ser gestionado en el sistema térmico y el eléctrico, para el estudio de los índices de consumo eléctrico se ha referido a los resultados del estudio energético en la parte eléctrica del Hospital en estudio desarrollado en la tesis propuesta por el Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez.

- En nuestro país se puede notar la repercusión de la diversidad de los hospitales lo que conlleva a una dificultad de comparaciones en el consumo energético. De igual manera imposibilita determinar un valor característico del consumo de energía para los Hospitales del país.
- La propuesta energética propuesta puede ser implementada en toda la red de Hospitales públicos del país, el resultado estará condicionado por parámetros propios de cada Hospital, los mismos que serán los causantes de las variaciones del consumo de energía.

## 5.2 Recomendaciones

- Integrar un Comité de Eficiencia Energética encargado de la evaluación y seguimiento de la implementación de las medidas estratégicas de ahorro energético.
- Realizar un programa de mantenimiento preventivo del sistema térmico. Actualmente se cuenta con programas de mantenimiento preventivo en las unidades generadoras de vapor y en los equipos de consumo pero no para la red de distribución.
- Realizar evaluaciones periódicas trimestrales de la eficiencia energética del sistema térmico.

- Capacitar al personal en operación y mantenimiento del sistema térmico, para con ello llegar a una concienciación de la importancia de la eficiencia del sistema térmico y el funcionamiento en su punto óptimo.
- Tratar de desarrollar una distribución estratégica de los horarios de consumos del sistema de vapor para que todos los consumidores de vapor funcionen al unísono mejorando así el aprovechamiento del vapor producido.
- Informar al personal operativo de la importancia del cierre del suministro de vapor hacia líneas de vapor en el momento que los mismos no lo necesiten, ya que ese hecho produce un gran desperdicio del mismo.



## BIBLIOGRAFÍA

Agencia Andaluza de la Energía. (2011). *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. Obtenido de [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/metodologia\\_xwebx1.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/metodologia_xwebx1.pdf)

ASME. (1999). *ASME Power Test Codes*. New York, EE.UU.: ASME.

Banco Central del Ecuador. (2015). *Indicadores Económicos*. Obtenido de <http://www.bce.fin.ec/index.php/indicadores-economicos> abril 2015

CADDET. (1997). *Energy efficiency in hospitals*. Obtenido de [http://www.fireitalia.it/eell/ospedali/energy\\_efficiency\\_in\\_hospitals\\_maxi\\_brochure\\_5\\_CADDET.pdf](http://www.fireitalia.it/eell/ospedali/energy_efficiency_in_hospitals_maxi_brochure_5_CADDET.pdf)

Cengel, Y. (2003). *Transferencia de Calor*. México D.F., México: McGraw-Hill.

Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. México D.F., México: McGraw-Hill.

Cengel, Y. (2009). *Termodinámica*. México D.F., México: McGraw-Hill.

CONUEE. (2009). *Bases de Vapor*. Obtenido de [http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/10/bases\\_vapor.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/10/bases_vapor.pdf)

Departamento de Estadística del San Vicente de Paúl Ibarra. (2013). *Índices Estadísticos 2013-2014*. Ibarra.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2010). *Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Hospitales*. Madrid, España: Móstoles.

Holman, J. (1998). *Transferencia de calor*. México D.F., Mexico: McGraw-Hill.

Incropera, D. (1996). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. EE.UU.: WILEY.161

Jiménez, J. (2015). Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9043/1/CD-6032.pdf>

Mafla, C. (2015). *Análisis de Eficiencia Energética Sistema Eléctrico, Tesis Maestría Energías Renovables*. Quito, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Mills, A. (s.f.). *Transferencia de Calor*. Madrid, España: Irwin.

Ministerio de Salud Pública. (s.f.). *Hospital "San Vicente de Paúl"*. Obtenido de <http://hsvp.gob.ec/index.php/2012-08-26-14-30-20/historia>

Revista Judicial La Hora. (2012). *Registro oficial No. 339*. Obtenido de <http://www.derechoecuador.com/productos/producto/catalogo/registros-oficiales/2012/septiembre/code/20502/registro-oficial-no-339--martes-25-de-septiembre-del-2012-edicion-especial>

SOGECAL. (2012). *MNK 2H – Caldera KESTABL de 2 hogares*. Obtenido de <http://www.sogecal.com/mnk-2h-caldera-de-vapor-kestahl-de-2-hogares/>

Thermal Engineering Ltda. (s.f.). *Análisis de eficiencia en calderas*. Obtenido de [http://www.thermal.cl/prontus\\_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo\\_\\_\\_eficiencia\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___eficiencia_en_calderas.pdf)

UPME. (s.f.). *Eficiencia energética en la generación y distribución de vapor*. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/vapor.pdf>

Vera, A. (2008). *Aplicación metodológica para la determinación del desempeño energético en hospitales de la región metropolitana*. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/vera\\_rs/sources/vera\\_rs.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/vera_rs/sources/vera_rs.pdf)

# **ANEXOS**

