



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
III PROMOCIÓN**

TESIS DE GRADO MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**TEMA: “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL IESS – IBARRA”**

AUTOR: ING. MERA ROSERO, ZAMIR ANDRÉS

DIRECTORA: ING. MSC. ARLA ODIO, SANDRA MAGDALENA

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN
CON LA COLECTIVIDAD****CERTIFICADO****ING. SANDRA ARLA ODIO, MSc**

Director

DR. REINALDO DELGADO GARCÍA, PhD

Oponente

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL IESS – IBARRA”** realizado por el Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad N°1003184478, como requisito para la obtención del título de Magister en Energías Renovables, III Promoción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias y requerimientos científicos, tecnológicos y académicos; razón por la cual se autoriza su presentación y defensa.

**ING. SANDRA ARLA ODIO, MSc**

Director

Sangolquí, 11 de Agosto de 2015.

**DR. REINALDO DELGADO GARCÍA, PhD**

Oponente

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

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

MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES III PROMOCIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ZAMIR ANDRÉS MERA ROSERO

DECLARA QUE:

El proyecto de posgrado **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL IESS – IBARRA”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de postgrado en mención.

Sangolquí, 11 de Agosto de 2015.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

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

MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES III PROMOCIÓN

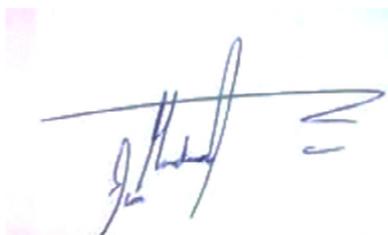
AUTORIZACIÓN

Yo,

ZAMIR ANDRÉS MERA ROSERO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL IESS – IBARRA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 11 de Agosto de 2015.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Zamir Andrés Mera Rosero', is centered on the page. The signature is written over a faint, light-colored rectangular background.

ING. ZAMIR ANDRÉS MERA ROSERO

AUTOR

AGRADECIMIENTO

He logrado dar este importante paso en mi vida profesional, gracias al amor, compañía, cariño, preocupación y ayuda, que me han brindado los seres que me rodean, los que conozco y con los que convivo.

"Habremos de ser lo que hagamos, con aquello que hicieron de nosotros"

Jean-Paul Sartre

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xix
RESUMEN.....	xx
CAPITULO 1	
GENERALIDADES.....	1
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	3
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.5. Alcance	4
CAPITULO 2	
ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL HOSPITAL.....	5
2.1. Normativas energéticas para hospitales	5
2.2. Índices de eficiencia energética en hospitales	10

2.3.	Antecedentes	20
2.3.1.	Ubicación	20
2.3.2.	Clima	22
2.3.3.	Características funcionales	23
2.4.	Estructura funcional del hospital IESS-Ibarra.....	24
2.4.1.	Servicios e instalaciones	24
2.4.2.	Recurso humano	26
2.4.3.	Gastos y presupuesto	26
2.4.4.	Espacio físico	27
2.4.5.	Organización funcional.....	28
2.4.6.	Índices estadísticos funcionales.....	29
2.5.	Estado del arte de la situación energética en el hospital IESS-Ibarra.....	31
2.5.1.	Principales sistemas energéticos del hospital	31
2.5.1.1.	Sistema eléctrico	31
2.5.1.2.	Sistema térmico – GLP	32
2.5.1.3.	Sistema térmico - Diesel	32
2.5.2.	Descripción del sistema térmico del hospital.....	33
2.5.3.	Costos energéticos.....	42
2.5.4.	Matriz de consumo de energía.....	43
2.5.5.	Indicadores de eficiencia energética	45
2.5.5.1.	Indicadores de eficiencia globales en unidades de energía (IEG-E)	46
2.5.5.2.	Indicadores de eficiencia globales en términos del costo de la energía (IEG-C).....	47

2.5.5.3. Indicadores de eficiencia del sistema térmico en unidades de energía (IET-E)	48
2.5.5.4. Indicadores de eficiencia del sistema térmico en términos del costo de la energía (IET-C)	50

CAPITULO 3

PROPUESTA Y DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN EL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL.....	52
3.1. Desarrollo de los modelos matemáticos del sistema térmico.....	52
3.1.1. Caldera.....	54
3.1.1.1. Energía del combustible.....	54
3.1.1.2. Pérdidas en la caldera.....	55
3.1.1.3. Pérdidas en purgas	71
3.1.1.4. Energía del vapor	73
3.1.2. Sistema de distribución de vapor	73
3.1.2.1. Calor consumido en lavandería, cocina y esterilización.....	74
3.1.2.2. Pérdidas de calor	74
3.1.2.3. Pérdidas en fugas de vapor	88
3.1.2.4. Calor consumido en piscina	89
3.1.2.5. Calor consumido en la red de ACS.....	95
3.1.2.6. Pérdidas de condensado no recuperado.....	98
3.1.3. Otros cálculos	99
3.1.3.1. Dimensionamiento de tuberías de vapor.....	99
3.2. Línea base del sistema térmico del hospital.....	100
3.2.1. Materiales y software	102
3.2.2. Balance de energía de la caldera.....	104
3.2.2.1. Energía del combustible.....	104

3.2.2.2. Pérdidas en la caldera.....	105
3.2.2.3. Pérdidas en purgas	107
3.2.2.4. Energía del vapor	109
3.2.3. Balance de energía del sistema de distribución vapor	110
3.2.3.1. Calor consumido en lavandería, cocina y esterilización.....	110
3.2.3.2. Pérdidas de calor en equipos y elementos del sistema de distribución de vapor	112
3.2.3.3. Pérdidas en fugas de vapor	118
3.2.3.4. Calor consumido en la piscina	119
3.2.3.5. Calor consumido en la red de ACS	125
3.2.3.6. Pérdidas de condensado en piscina.....	128
3.2.3.7. Pérdidas de calor	128
3.2.4. Balance energético del sistema térmico del hospital.....	130
3.3. Funcionamiento óptimo del sistema térmico del hospital – Alternativa 1	136
3.3.1. Operaciones de la caldera	136
3.3.1.1. Eficiencia de la caldera	136
3.3.2. Pérdidas en el sistema de distribución.....	136
3.3.2.1. Fugas de vapor	136
3.3.2.2. Tubería de vapor hacia piscina	136
3.3.3. Uso final	141
3.3.3.1. Piscina	141
3.3.4. Recolección y retorno del condensado	145
3.3.4.1. Trampas de vapor	145
3.3.4.2. Condensado recuperado en piscina.....	146

3.4.	Plan de eficiencia con cambios significativos en el sistema térmico – Alternativa 2.....	146
3.4.1.	Operaciones de la caldera	146
3.4.1.1.	Economizador convencional del agua de alimentación.....	146
3.4.2.	Pérdidas en el sistema distribución	148
3.4.2.1.	Aislamiento de accesorios de red de tuberías de vapor.....	148
3.4.2.2.	Aislamiento de tanque de condensado	148
3.4.2.3.	Aislamiento de tubería principal de ACS.....	149
3.5.	Resultados	150
3.5.1.	Comparación de energía ahorrada	152
3.5.2.	Energía del combustible para las alternativas de eficiencia energética	154
3.5.3.	Índicadores de eficiencia energética	155
CAPITULO 4		
GESTIÓN ENERGÉTICA DEL HOSPITAL		159
4.1.	Evaluación técnico-económica de las oportunidades de ahorro en los sistemas.	159
4.2.	Costo de implementación y retorno de la inversión.....	161
4.3.	Estrategias de ahorro energético para el sistema térmico	163
CONCLUSIONES		165
RECOMENDACIONES.....		168
BIBLIOGRAFÍA		169
CITAS BIBLIOGRÁFICAS		172
ANEXOS.....		176

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Promedio anual de consumo de energía eléctrica y térmica por cama, para seis países OCDE: Italia, Bélgica, Holanda, Suecia, Canadá y Australia.....	12
FIGURA 2 Promedio anual de consumo de energía eléctrica y térmica por área bruta de edificación, para nueve países de la OCDE. Suiza, Bélgica, Holanda , Canadá, Reino Unido, Grecia, Suecia, Australia, USA y Canadá	13
FIGURA 3 Consumo eléctrico promedio anual por área de construcción, de H. Públicos. Según año de construcción. Santiago de Chile	14
FIGURA 4 Consumo eléctrico promedio anual de H. Públicos. Según superficie construida. Santiago de Chile.....	14
FIGURA 5 Consumo eléctrico promedio anual de H. Públicos. Según número de camas. Santiago de Chile (Sep. 2006 – Sep. 2007)	15
FIGURA 6 Consumo energía térmica promedio anual por área de construcción, de H. Públicos. Según año de construcción. Santiago de Chile.....	15
FIGURA 7 Consumo energía térmica promedio anual de H. Públicos. Según superficie construida. Santiago de Chile	16
FIGURA 8 Consumo energía térmica promedio anual de H. Públicos. Según número de camas. Santiago de Chile (Sep. 2006 – Sep. 2007).....	16
FIGURA 9 Hospital IESS – Ibarra.....	20
FIGURA 10 Ciudad de funcionamiento del centro médico. Ibarra	21
FIGURA 11 Ubicación dentro de la ciudad de Ibarra.....	22
FIGURA 12 Producción general anual del Hospital IESS – Ibarra.....	29

FIGURA 13 Ocupación y número de camas censables para el año 2013 – Hospital IESS - Ibarra	30
FIGURA 14 Atenciones realizadas en el año 2013 – Hospital IESS - Ibarra	30
FIGURA 15 Costos asociados a la energía. Hospital IESS – Ibarra (2013)	43
FIGURA 16 Matriz de consumo de energía. Hospital IESS – Ibarra (2013)	44
FIGURA 17 Balance de energía del sistema térmico del Hospital.....	52
FIGURA 18 Balance de energía de la caldera.....	53
FIGURA 19 Balance de energía del sistema de distribución de vapor	54
FIGURA 20 Flujo másico aproximado en la purga, basado en una longitud total equivalente de 8m	72
FIGURA 21 Tanque cilíndrico horizontal	76
FIGURA 22 Tubería con aislamiento	83
FIGURA 23 Pérdida de vapor a través de agujeros.....	89
FIGURA 24 Balance de energía de la Piscina	90
FIGURA 25 Factor de actividad	92
FIGURA 26 Balance de energía de la red de ACS	96
FIGURA 27 Balance de energía de la caldera.....	109
FIGURA 28 Perfil de temperatura para un día tipo, tuberías de ACS y retorno de ACS	116
FIGURA 29 Temperatura del aire y agua de la piscina	119
FIGURA 30 Balance de energía de la piscina	124
FIGURA 31 Balance de energía de ACS.....	127

FIGURA 32 Balance de energía de pérdidas en el sistema de distribución de vapor.....	129
FIGURA 33 Balance de energía del sistema térmico del Hospital – Línea base.....	131
FIGURA 34 Energía consumida en piscina para alternativas de EE	152
FIGURA 35 Energía consumida en el sistema de ACS para alternativas de EE	153
FIGURA 36 Energía consumida en el sistema de distribución de vapor para alternativas de EE.....	153
FIGURA 37 Energía consumida por el sistema térmico del Hospital para alternativas de EE.....	154
FIGURA 38 Indicador de eficiencia IEG-E1 e IET-E1.....	157
FIGURA 39 Indicador de eficiencia IEG-E2 e IET-E2.....	157
FIGURA 40 Indicador de eficiencia IEG-E3 e IET-E3.....	158
FIGURA 41 VAN para las alternativas de EE planteadas.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 INEN. Catálogo de documentos normativos vigentes de Eficiencia Energética. Abril 2015	7
TABLA 2 Normas internacionales referentes al uso de la energía y la eficiencia energética	8
TABLA 3 Guías y manuales de referencia para la Eficiencia energética	10
TABLA 4 Índices de eficiencia energética referenciales	17
TABLA 5 Datos climáticos para Ibarra	23
TABLA 6 Servicios ofertados por el Hospital IESS - Ibarra.....	25
TABLA 7 Valores contables del IESS Hospital - Ibarra en el último cuatrienio	27
TABLA 8 Estructura física del Hospital y área de construcción.....	27
TABLA 9 Elementos de generación de vapor	36
TABLA 10 Elementos de distribución de vapor y ACS.....	36
TABLA 11 Elementos de consumo de vapor y ACS	39
TABLA 12 Diagnóstico energético. Hospital IESS - Ibarra.....	45
TABLA 13 Análisis de gases de combustión de la caldera	57
TABLA 14 Composición típica del Diesel No.2	58
TABLA 15 Pérdidas en la caldera - ASME PTC4-2008.....	66
TABLA 16 Longitud equivalente de accesorios para la tubería de purga, en metros [m].....	72
TABLA 17 Materiales y software para el análisis del sistema térmico	102
TABLA 18 Emisividad medida para algunos materiales.....	104
TABLA 19 Análisis de gases de combustión de la caldera	105

TABLA 20 Pérdidas que son función del porcentaje de energía del combustible y eficiencia de la combustión	106
TABLA 21 Pérdidas de radiación y convección en la superficie del caldero en kilovatios	107
TABLA 22 Energía perdida en purgas de la caldera	108
TABLA 23 Consumo de energía de equipos de vapor	111
TABLA 24 Variables termodinámicas calculadas para recipientes horizontales cilíndricos.....	113
TABLA 25 Pérdidas de calor calculadas para recipientes horizontales cilíndricos	114
TABLA 26 Características de líneas de distribución de vapor y ACS	115
TABLA 27 Pérdidas de calor calculadas en tuberías	116
TABLA 28 Pérdidas de energía por fugas.....	118
TABLA 29 Temperaturas de referencia del aire y agua de la piscina, en grados centígrados	120
TABLA 30 Variables termodinámicas calculadas para intercambiador de la piscina	121
TABLA 31 Pérdidas de calor calculadas para el intercambiador de la piscina.....	121
TABLA 32 Pérdidas en la piscina.....	122
TABLA 33 Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua	123
TABLA 34 Calor total consumido en la red de ACS	126
TABLA 35 Pérdidas en condensado no recuperado en piscina	128
TABLA 36 Medidas para mejora de eficiencia en el Sistema térmico	133
TABLA 37 Línea de distribución de vapor a piscina.....	137

TABLA 38 Dimensionamiento de tubería de distribución de vapor hacia piscina.....	138
TABLA 39 Pérdidas en tuberías de distribución de vapor hacia piscina	139
TABLA 40 Dimensionamiento de tubería de retorno de condensado de piscina.....	140
TABLA 41 Pérdidas en tuberías principales y accesorios de Piscina. Con aislamiento.....	141
TABLA 42 Pérdidas en la piscina en horas de desuso y temperatura final con cubierta térmica.....	142
TABLA 43 Pérdidas en la piscina con cubierta térmica.....	143
TABLA 44 Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua en piscina con cubierta térmica	144
TABLA 45 Pérdidas en el intercambiador de piscina	145
TABLA 46 Datos para la selección del economizador de agua caliente	147
TABLA 47 Características del economizador de agua caliente	147
TABLA 48 Variables termodinámicas calculadas para el tanque de condensado para diferentes espesores de aislamiento	148
TABLA 49 Pérdidas de calor calculadas para el tanque de condensado para diferentes espesores de aislamiento	149
TABLA 50 Pérdidas en tuberías principales y accesorios de ACS. Con aislamiento.....	150
TABLA 51 Operaciones de caldera para alternativas de EE.....	150
TABLA 52 Energía ahorrada en alternativas de EE	151
TABLA 53 Energía del combustible para alternativas de EE	155
TABLA 54 Costo de energía del combustible para alternativas de EE	155
TABLA 55 Indicadores de eficiencia energética para el sistema térmico (GLP + diesel) del Hospital IESS – Ibarra.....	156

TABLA 56 Costos asociados a implementación de Alternativa 1	159
TABLA 57 Costos asociados a implementación de Alternativa 2.....	160
TABLA 58 VAN para alternativas de EE planteadas.....	162

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 Balance de energía del sistema de distribución de vapor	53
ECUACIÓN 2 Energía del combustible	54
ECUACIÓN 3 Pérdidas de la caldera	55
ECUACIÓN 4 Eficiencia de la combustión	55
ECUACIÓN 5 Masa de gas seco de combustión.....	67
ECUACIÓN 6 Pérdida en gases secos.....	68
ECUACIÓN 7 Pérdida por el agua formada en la combustión de H ₂ del combustible.....	68
ECUACIÓN 8 Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos	68
ECUACIÓN 9 Pérdida por CO en los gases de combustión.....	69
ECUACIÓN 10 Pérdida por la formación de NO _x	69
ECUACIÓN 11 Pérdida por radiación y convección de la superficie en el caldero, vatios.....	70
ECUACIÓN 12 Pérdida por radiación y convección de la superficie en el caldero, porcentaje	71
ECUACIÓN 13 Energía consumida en purgas	73
ECUACIÓN 14 Energía del vapor.....	73
ECUACIÓN 15 Calor en equipos de vapor.....	74
ECUACIÓN 16 Pérdidas de calor	74
ECUACIÓN 17 Pérdidas de calor indeterminadas.....	75
ECUACIÓN 18 Temperatura de película	76
ECUACIÓN 19 Número de Rayleigh	76
ECUACIÓN 20 Nusselt para superficie cilíndrica horizontal.....	77

ECUACIÓN 21 Nusselt para placa plana vertical	78
ECUACIÓN 22 Nusselt - convección.....	78
ECUACIÓN 23 Ley de enfriamiento de Newton	78
ECUACIÓN 24 Ley de Stefan-Boltzmann.....	79
ECUACIÓN 25 Ley de enfriamiento de Newton - tubería	81
ECUACIÓN 26 Ley de Stefan-Boltzmann - tubería	82
ECUACIÓN 27 El calor perdido en la tubería	82
ECUACIÓN 28 Pérdida de calor en cilindros aislados y temperatura exterior desconocida.....	84
ECUACIÓN 29 Nusselt para superficie plana horizontal superior	87
ECUACIÓN 30 Nusselt para superficie plana horizontal inferior	88
ECUACIÓN 31 Pérdidas en fugas de vapor	89
ECUACIÓN 32 Calor consumido en piscina.....	90
ECUACIÓN 33 Pérdidas en el vaso de la piscina.....	91
ECUACIÓN 34 calor consumido en la red de ACS.....	96
ECUACIÓN 35 Energía consumida en el Intercambiador de calor de ACS	97
ECUACIÓN 36 Pérdidas de energía por condensado no recuperado.....	98
ECUACIÓN 37 Caída de presión en tuberías de vapor.....	99
ECUACIÓN 38 Velocidad en tuberías de vapor	100

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACS Agua caliente sanitaria

CCQ Cámara de Comercio de Quito

EE Eficiencia Energética

EMELNORTE Empresa Eléctrica Regional Norte

ERP Estación reductora de presión

ETV Estación de trampeo de vapor

IESS Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización

INER Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables

MEER Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MIDUVI Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

RESUMEN

En el estudio primero se realizó un análisis general de la situación energética del Hospital IESS-Ibarra, tomando como línea base, el año 2013; para la producción de vapor, se tuvo un consumo de Diesel de 8296,35 GJ (71%) ó 55553 USD (46%). Luego el estudio se enfocó en elaborar un balance energético del sistema térmico del Hospital, para esto se hizo un análisis de la eficiencia de la caldera; se calcularon pérdidas de calor en el sistema de distribución de vapor y ACS; y se hallaron los consumos de energía en las diferentes áreas de servicio donde se usa energía térmica; se analizaron todos los subsistemas para la evaluación y propuestas de eficiencia energética. Como Alternativa 1 de EE se propusieron medidas de carácter general, mientras la Alternativa 2, con el triple de costo de implementación, incluye a la Alternativa 1, y consiste en medidas enfocadas en el correcto aislamiento del sistema y la instalación de un economizador convencional. La reducción del consumo energético es del 12,61% y 32,43% respectivamente. El retorno de la inversión para ambas alternativas es de 4 años, pero la alternativa 2 representa un claro beneficio por la ventaja de lograr un mayor flujo neto positivo, adicionalmente de la disminución de emisiones hacia el ambiente y una mejora de los índices de desempeño energético del hospital. Los indicadores de EE se encuentran bajo los valores promedio de los estudios comparados debido a que no existe un sistema de acondicionamiento de aire en la edificación.

PALABRAS CLAVES:

- **EFICIENCIA ENERGÉTICA**
- **HOSPITALES PÚBLICOS**
- **SISTEMA DE VAPOR**
- **INDICES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN HOSPITALES**
- **BALANCE DE ENERGÍA**

ABSTRACT

Firstly, in the study, an overview of the energy situation in the IESS-Ibarra Hospital was made. In the base line, year 2013, for the steam production, the diesel consumption was 8296.35 GJ (71%) or 55553 USD (46%). Then the study was focused on developing an energy balance in the thermal system; an analysis of the efficiency of the boiler was made; heat losses were calculated in the steam distribution system and ACS; and energy consumption was calculated in different service areas where thermal energy is used. All subsystems were also analyzed. In the efficiency energy Alternative 1, was proposed general initiatives, while Alternative 2, that includes the Alternative 1, is focused in the right insulation of the system and the installation of a conventional economizer. The energy consumption is reduced in 12.61% and 32.43% respectively for alternative 1 and 2. The return on investment for both alternatives is 4 years, but the alternative 2 represents a clear benefit because it achieves a higher net positive cash flow, in addition to the reduction of emissions into the environment and improves the Hospital energy efficiency performance indicators. Indicators are under the average values of other studies because there is no air conditioning system in the building.

KEY WORDS:

- **ENERGY EFFICIENCY**
- **PUBLIC HOSPITALS**
- **STEAM SYSTEM**
- **ENERGY CONSUMPTION INDICATORS IN HOSPITALS**
- **ENERGY BALANCE**

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

En los primeros años de la década del 70, la incertidumbre de los países desarrollados y dependientes de las importaciones petroleras respecto de las condiciones de abastecimiento, en términos de seguridad, cantidad y precio, fue desencadenante de la incorporación del ahorro, el uso racional y la eficiencia energética en el diseño y las metas que establecerían en sus sistemas energéticos.

Las alertas que surgieron con posterioridad, relativas al cambio climático y sus consecuencias para la humanidad, acentuaron la preocupación por las modalidades de uso de la energía, los residuos producidos, sus emisiones a la atmósfera y la elevación de la temperatura por el efecto invernadero. A través de un proceso lento de toma de conciencia a nivel mundial y la firma de tratados y protocolos para la preservación del medio ambiente, se creó un nuevo impulso para la búsqueda de un mejor uso de la energía (Guzmán, 2009).

En América del Sur, las principales fuentes de energía son el petróleo, derivados y gas natural que abarcan aproximadamente el 70% de la energía total consumida. Contribuyendo también con el 5% de las emisiones mundiales de CO₂ (Olade, 2010).

El desarrollo de la eficiencia energética requiere de programas permanentes que lleven a una mejora continua del sistema energético que crece a medida que hay un mejoramiento económico y crecimiento poblacional.

Para el Ecuador la eficiencia energética tuvo inicio con planes de renovación de electrodomésticos y vehículos de transporte, también se

implementó el cambio de iluminación incandescente por tecnología fluorescente, y recientemente se está haciendo el uso de cocinas de inducción.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el sector salud, específicamente el sector público, siendo un sector de gran consumidor energético, no se han realizado estudios del uso de la energía, esto implica que no se disponga de indicadores energéticos para evaluar el desempeño del centro médico o para compararlo con otros centros médicos de características funcionales comparables. Al no existir esta información, tampoco se han implantado políticas, ni planes de gestión energética.

El Hospital IESS-Ibarra, lleva funcionando 17 años y se evidencia áreas del sistema térmico con fallos, y con potencial de ahorro en materia de energía, se requiere determinar el consumo de los sistemas energéticos principales y equipos, a fin de proponer mejoras y/o cambios, que sin reducir prestaciones o funcionalidad resulten en un ahorro energético y económico para la institución.

Mediante la aplicación de la eficiencia energética EE, se puede reducir la producción de gases de efecto invernadero y la reducción de costos asociados a operación y mantenimiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el balance energético y analizar alternativas de eficiencia energética en el sistema térmico del hospital IESS – Ibarra

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuáles son los sistemas de mayor consumo energético
- Determinar los índices de eficiencia energética del sistema térmico
- Realizar modelos de comportamiento del sistema térmico
- Proponer alternativas de eficiencia energética

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

En el Ecuador no se ha realizado un análisis del uso de la energía en hospitales públicos, por ello es necesario empezar por una evaluación particular y general de los sistemas energéticos de estos centro médicos. A fin de establecer indicadores de uso eficiente de energía y hacer propuestas de mejora, que se traduzcan en beneficios potenciales como:

- Reducir los costos de energía, puesto que los hospitales consumen una importante cantidad de energía fósil (calderos, calentadores, generador, etc.) y eléctrica (iluminación, ventilación, equipos medicinales, etc.). Reduciendo estos costos se puede disponer de mejor modo los excedentes económicos para la operación hospitalaria.
- Mejorar la calidad de la atención, así mejorando la administración en la generación y consumo de vapor, se puede tener un vapor a la temperatura y presión adecuadas para los diversos usos.
- Mejorar la confiabilidad del suministro de energía térmica y eléctrica.
- Beneficios adicionales como el costo de mantenimiento reducido y la seguridad del trabajador, ya que en general las tecnologías eficientes son más fiables.

- Reducción de la polución, además de preservar el medioambiente y permite conservar los recursos naturales para futuras generaciones.

Por ello se plantea crear alternativas de eficiencia energética para el hospital IESS-Ibarra, en los sistemas de mayor relevancia energética.

1.5. ALCANCE

En este estudio, se propone hacer un análisis energético del sistema térmico del hospital IESS – Ibarra para identificar su potencial de ahorro energético, recomendar soluciones y generar una propuesta de gestión de la energía. El enfoque de trabajo es priorizar el ahorro de energía para luego evaluar el beneficio económico.

Se realiza un balance de energía del hospital y de subsistemas contenidos en el sistema térmico, enfocado en el cálculo de pérdidas de energía y el consumo final de cada área médica. Se obtienen indicadores de eficiencia energética para el Hospital y se comparan con indicadores de otros países, a pesar de las características funcionales propias de cada institución médica. Por último se contrastan alternativas de ahorro energético y se evalúa su factibilidad económica.

CAPITULO 2

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL HOSPITAL

2.1. NORMATIVAS ENERGÉTICAS PARA HOSPITALES

En Ecuador las instituciones claves para la investigación y el desarrollo de la Eficiencia energética (EE) son:

Ministerio de Electricidad y Energías Renovables

Creado el 9 de julio de 2007 es el “Organismo rector del sector eléctrico, de energía renovable y nuclear, responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, mediante la formulación de normativa pertinente, planes de desarrollo y políticas sectoriales para el aprovechamiento eficiente de sus recursos, garantizando que su provisión responda a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad, estableciendo mecanismos de eficiencia energética, participación social y protección del ambiente, gestionado por sus recursos humanos especializados y de alto desempeño”. (MEER)

Al interior del ministerio funciona la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética, que es la encargada de promover y proponer la implementación de políticas, estrategias, proyectos y acciones tendientes a desarrollar y aplicar proyectos de energía renovable y el uso eficiente de la energía en todas las regiones del país.

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable

Es un Instituto Público de Investigación – IPI, creado por Decreto Ejecutivo No. 1048 y puesto en vigencia con la publicación del Registro Oficial No. 649, del 28 de febrero de 2012. Y tiene por objetivo: “Contribuir al

desarrollo sostenible de la sociedad ecuatoriana, a través de la investigación científica y tecnológica, brindando insumos que faciliten la masificación de las mejores prácticas y la implementación de políticas y proyectos, en el campo de la eficiencia energética y las energías renovables” (INER)

Sin embargo, a nivel de país no se cuenta con normativas o estándares para la eficiencia energética en hospitales. Y tampoco existen estudios de similares características. Solamente normas extranjeras que se acogen de manera voluntaria sin tomar en cuenta criterios técnicos, climáticos y tecnológicos particulares del Ecuador.

Mediante Decreto Ejecutivo No. 705, publicado en el Registro Oficial No. 421 de fecha 6 de abril del 2011, se conformó el Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC, encargado de expedir la Norma Ecuatoriana de Construcción, que contempla los requisitos mínimos que deberán observarse al momento de realizar diseños, al construir y controlar lo ejecución de obras. Se publicó, aunque no se ha revisado y oficializado la aplicación del *Capítulo 13 de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-11): Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Aquí se encuentran lineamientos generales que no aplican directamente a los hospitales, pero que pueden dar ciertas pautas para el buen uso de la energía en la construcción y operación de edificaciones. También existe la norma NTE INEN 2506 - Eficiencia energética en edificaciones. Requisitos, que da una guía muy general de eficiencia en lo referido a iluminación.

A continuación se presenta un listado de normas ecuatorianas relacionadas a la eficiencia energética, con posible aplicación en la edificación y sus componentes:

Tabla 1

INEN. Catálogo de documentos normativos vigentes de Eficiencia Energética. Abril 2015

Título	Código ICS	Norma	Documento	Año
Eficiencia energética de acondicionadores de aire sin ductos. Requisitos	91.140.30	NTE INEN	2495	2012
Eficiencia energética en motores eléctricos estacionarios.	29.160.30	NTE INEN	2498	2009
Eficiencia energética en edificaciones. Requisitos	91.140	NTE INEN	2506	2009
Rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. Requisitos	97.100.99	NTE INEN	2507	2009
Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios. (ISO 13790:2008, idt)	91.120.10	NTE INEN ISO	13790	2014
Eficiencia energética de los ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles. Parte 1: medición de la energía y verificación. (ISO 25745-1:2012, idt).	91.140.90	NTE INEN ISO	25745-1	2014
Uso eficiente de energía en bombas centrífugas de agua potable de uso residencial. Requisitos	23.100.10	NTE INEN	2517	2010
Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso	27.010	NTE INEN ISO	50001	2012

Fuente: (INEN)

Algunas de las normativas energéticas que influyen en la Eficiencia energética en la edificación, hospitales y elementos que pueden hallarse en un centro médico se enumeran a continuación:

Tabla 2

Normas internacionales referentes al uso de la energía y la eficiencia energética

Norma	Región	Título / ámbito	Objetivo
Directivas generales			
2012/27/UE	Unión Europea	Directiva relativa a la eficiencia energética	Exige a los Estados miembros que establezcan objetivos indicativos nacionales de eficiencia energética para 2020, basados en el consumo de energía primario o final, y se disponen normas vinculantes para los usuarios finales y los proveedores de energía.
2010/31/UE	Unión Europea	Rendimiento energético de los edificios	Relativa a la eficiencia energética de los edificios (en particular, al aislamiento, al aire acondicionado y al uso de fuentes de energía renovables), proporciona un método de cálculo de la eficiencia energética de los edificios, así como requisitos mínimos para los edificios nuevos y los grandes edificios existentes, y una certificación energética

CONTINÚA →

Normativas - Energía

UNE 16501:2009	España	Auditorías energéticas	Describir los requisitos que debe tener una auditoría energética para que, realizada en distintos tipos de organismos pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética, la promoción del ahorro energético y disminuir emisiones de gases de efecto invernadero.
UNE-EN 15603:2008	España	Eficiencia energética de los edificios	Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas.
ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999	USA	Norma energética para edificios	excepto edificios residenciales de baja planta
ASME EA3-2009	USA	Energy Assessment for Steam Systems	Procedimientos para la eficiencia energética en sistemas de vapor
Equipos			
ASME PTC 4-2008	USA	Desempeño de calderas industriales	Lograr una eficiente operación y un adecuado rendimiento en calderas es clave para mantener los costos operativos bajos y reducir la contaminación ambiental. A través de este test se puede evaluar la operación de manera precisa y fijar pautas para su mejora continua.
EN 12952-15	Unión Europea	Calderas acuatubulares	
EN 12953-11	Unión Europea	Calderas humotubulares	
ASME PTC 39.1-1980	USA	Trampas de vapor	

Tabla 3
Guías y manuales de referencia para la Eficiencia energética

Nombre	Región	Entidad (Año)
Guía de eficiencia energética para establecimientos de salud (GEEESal)	Chile	AChEE (2012)
Manual de Gestor Energético: Sector Hospitalario	Chile	AChEE (2013)
Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales	España	FENERCOM (2010)
Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético: Hospitales (#13)	Perú	Ministerio de Energía y Minas (2008)
Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas	España	IDAE (2007)

2.2. ÍNDICES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN HOSPITALES

Los índices de eficiencia energética deben ser analizados e interpretados en función del contexto donde funciona el centro médico, cada lugar tiene sus propias características funcionales; procedimientos y normativas hospitalarias; leyes gubernamentales; factores climáticos y demográficos; entre otras variables que modifican los valores numéricos de estos indicadores. Es importante hacer una comparación entre hospitales de similares características.

Los índices de Eficiencia Energética serán de utilidad para:

- Saber la realidad energética del hospital a nivel global y desglosado por sistema.
- Compararlo con índices referenciales y con índices de otros edificios.
- Identificar los sistemas de consumo energético con mayor potencial de ahorro.

Según la (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2013) los indicadores que pueden utilizarse son:

Indicadores de eficiencia globales

- La energía total anual consumida dividida por la unidad de superficie edificada [kWh/m²-año].
- La energía total consumida anual por el número paciente por noche [kWh/cama ocupada]
- La potencia instalada dividida por unidad de superficie edificada [kW/m²]

Estos indicadores también pueden ser utilizados para el sistema eléctrico y de combustibles

Los indicadores desagregados para consumos eléctricos, combustibles y monetarios son:

Indicadores para consumo eléctrico

- kWh / año
- kWh / m² - año
- kWh / cama ocupada

Indicadores para combustibles

- m³ / año
- m³ / cama ocupada
- MJ / m²
- kWh / año
- kWh / m² - año
- kWh / cama ocupada

Indicadores monetarios

- \$ / año
- \$ / m² / año
- \$ / persona / año
- \$ / kWh / año

Una revisión de bibliografía muestra que a nivel internacional, algunos indicadores de EE en hospitales del uso de energía térmica y eléctrica son:

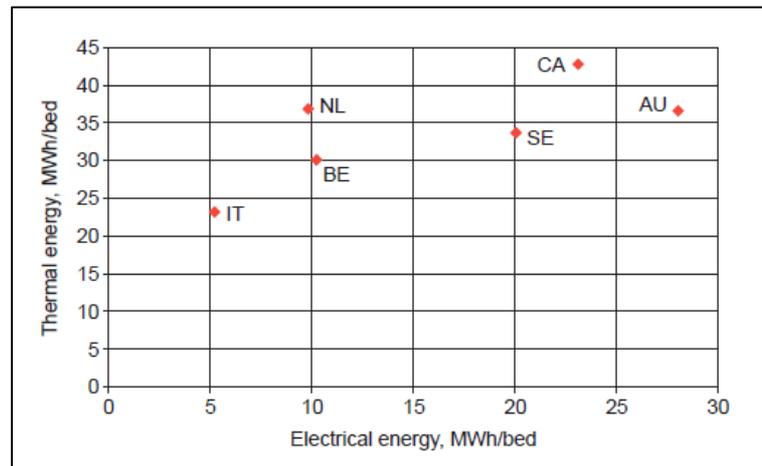


Figura 1. Promedio anual de consumo de energía eléctrica y térmica por cama, para seis países OCDE: Italia, Bélgica, Holanda, Suecia, Canadá y Australia

Fuente: (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), 1997)

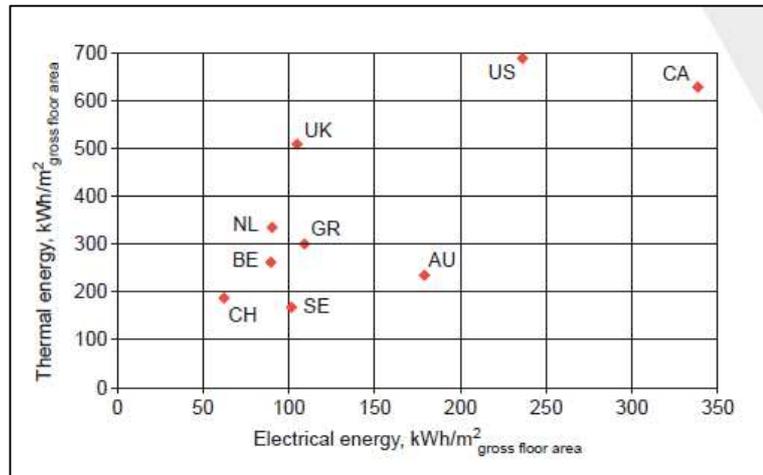


Figura 2. Promedio anual de consumo de energía eléctrica y térmica por área bruta de edificación, para nueve países de la OCDE. Suiza, Bélgica, Holanda , Canadá, Reino Unido, Grecia, Suecia, Australia, USA y Canadá

Fuente: (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET), 1997)

Una investigación realizada el año 2008 en Chile (Vera, 2008) para la determinación del desempeño energético en Hospitales y Clínicas privadas de la capital, Santiago de Chile, muestra los siguientes resultados:

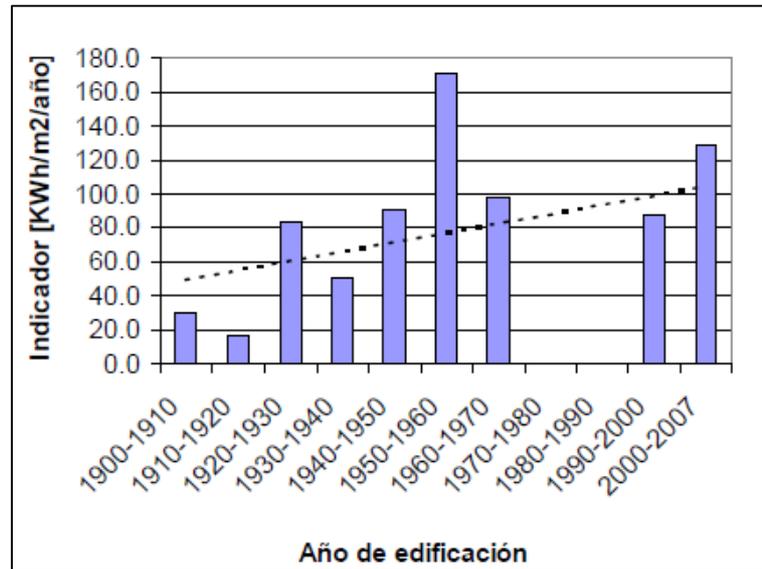


Figura 3. Consumo eléctrico promedio anual por área de construcción, de H. Públicos. Según año de construcción. Santiago de Chile

Fuente: (Vera, 2008)

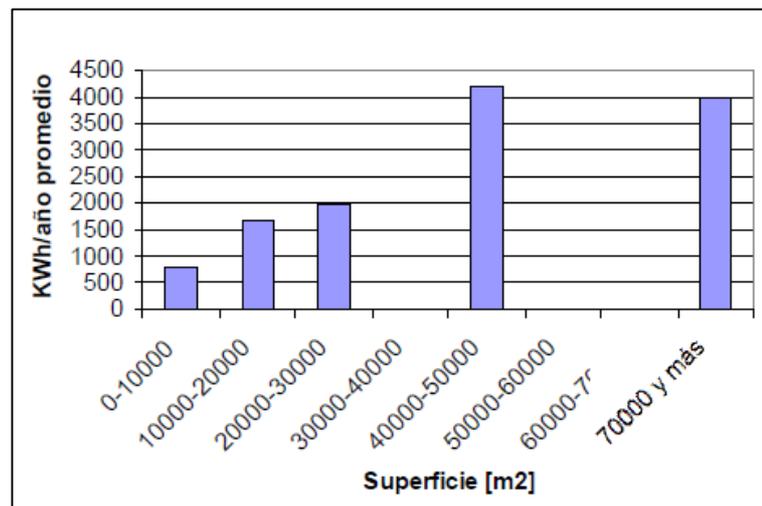


Figura 4. Consumo eléctrico promedio anual de H. Públicos. Según superficie construida. Santiago de Chile

Fuente: (Vera, 2008)

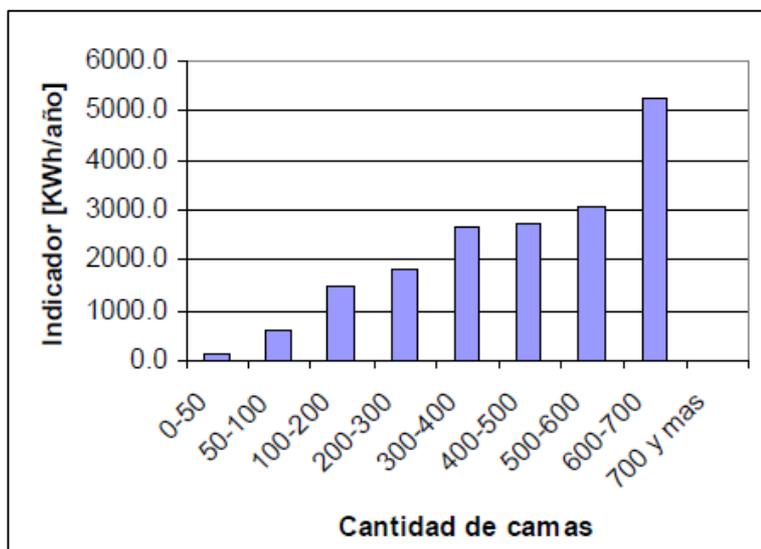


Figura 5. Consumo eléctrico promedio anual de H. Públicos. Según número de camas. Santiago de Chile (Sep. 2006 – Sep. 2007)

Fuente: (Vera, 2008)

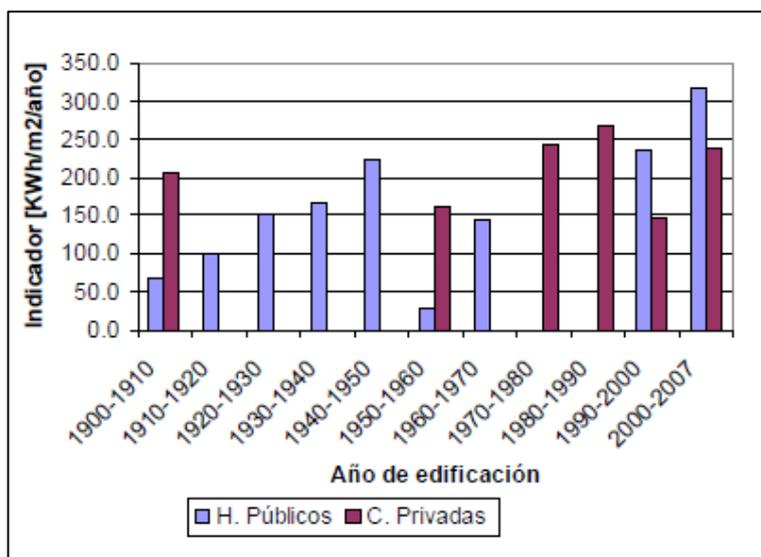
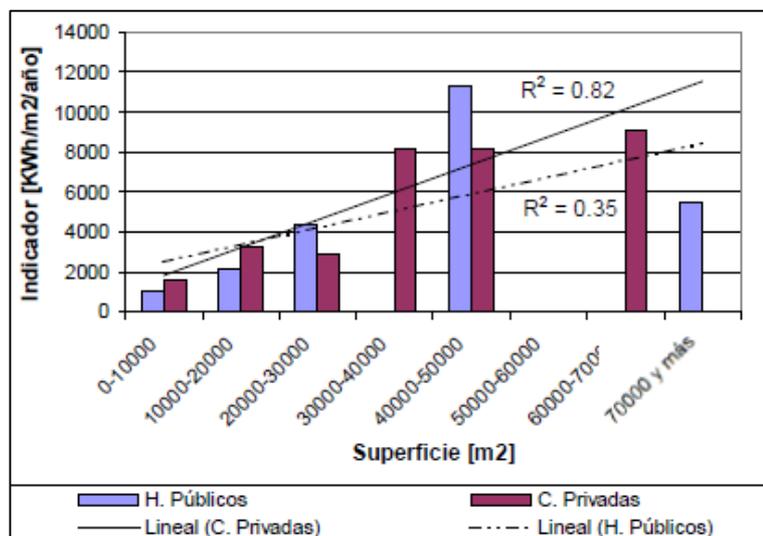


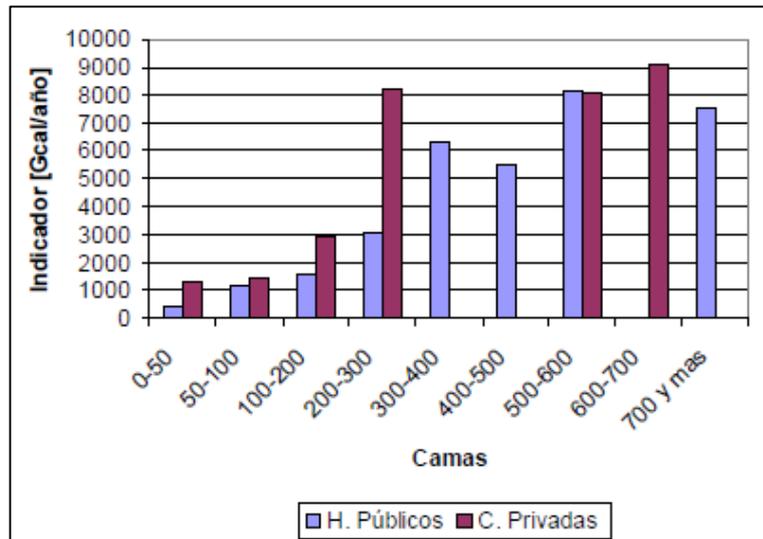
Figura 6. Consumo energía térmica promedio anual por área de construcción, de H. Públicos. Según año de construcción. Santiago de Chile

Fuente: (Vera, 2008)



**Figura 7. Consumo energía térmica promedio anual de H. Públicos.
Según superficie construida. Santiago de Chile**

Fuente: (Vera, 2008)



**Figura 8. Consumo energía térmica promedio anual de H. Públicos.
Según número de camas. Santiago de Chile (Sep. 2006 – Sep. 2007)**

Fuente: (Vera, 2008)

Los índices de ambas investigaciones se resumen en la tabla a continuación. Además están representados los índices globales de EE, obtenidos al sumar los índices correspondientes a uso de energía eléctrica y térmica.

Tabla 4
Índices de eficiencia energética referenciales

No.	Índice de EE	Valor	País	Hospital	Observaciones
Global					
G1	MWh / cama-año	28.4	Italia	-	Mínimo del estudio (1), calculado a partir de datos (combustible + electricidad)
G2	MWh / cama-año	65.8	Canadá	-	Máximo del estudio (1), calculado a partir de datos (combustible + electricidad)
G3	kWh / m ² -año	241.0	Suiza	-	Mínimo del estudio (1), calculado a partir de datos (combustible + electricidad)
G4	kWh / m ² -año	990.0	Canadá	-	Máximo del estudio (1), calculado a partir de datos (combustible + electricidad)
G5	kWh / m ² -año	360.0	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Indicador T7+E7, Año de edificación 1980-1990. Estudio (2)
G6	kWh / m ² -año	338.0	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Indicador T10+E9. Área de construcción entre 10000 m ² y 20000 m ² . Estudio (2)

CONTINÚA →

G7	MWh / año	3360,8	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Indicador T9+E10, para promedio de camas (150), entre 100 y 200. Estudio (2)
G8	MWh / cama-año	22,4	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Indicador G7, para promedio de camas (150), entre 100 y 200. Estudio (2)

Térmico

T1	MWh / cama-año	23.3	Italia	-	Mínimo del estudio (1)
T2	MWh / cama-año	42.8	Canadá	-	Máximo del estudio (1)
T3	MWh / cama-año	33.9	Promedio	-	Promedio del estudio (1)
T4	kWh / m ² -año	168.0	Suecia	-	Mínimo del estudio (1), área bruta de construcción
T5	kWh / m ² -año	690.0	USA	-	Máximo del estudio (1), área bruta de construcción
T6	kWh / m ² -año	367.0	Promedio	-	Promedio del estudio (1), área bruta de construcción
T7	kWh / m ² -año	270.0	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Año de edificación 1980-1990. Estudio (2)
T8	kWh / m ² -año	220	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Área de construcción entre 10000 m ² y 20000 m ² . Estudio (2)
T9	MWh / año	1860,8	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Entre 100 y 200 camas. Estudio (2)

CONTINÚA →

T10	MWh / cama-año	23,3	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Dividiendo indicador T8, para promedio de camas (150), entre 100 y 200. Estudio (2)
Electricidad					
E1	MWh / cama-año	5.1	Italia	-	Mínimo del estudio (1)
E2	MWh / cama-año	28.1	Australia	-	Máximo del estudio (1)
E3	MWh / cama-año	16.1	Promedio	-	Promedio del estudio (1)
E4	kWh / m ² - año	61.0	Suiza	-	Mínimo del estudio (1), área bruta de construcción
E5	kWh / m ² - año	339.0	Canadá	-	Mínimo del estudio (1), área bruta de construcción
E7	kWh / m ² - año	90.0	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Año de edificación 1980- 1990. Estudio (2)
E8	kWh / año	1700	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Área de construcción entre 10000 m ² y 20000 m ² . Estudio (2)
E9	kWh / m ² - año	118	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Área de construcción entre 10000 m ² y 20000 m ² . Estudio (2)
E10	MWh / año	1500.0	Chile	H. Públicos – Santiago de Chile	Entre 100 y 200 camas. Estudio (2)

Fuente:

(Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET), 1997), Vera, R. (Enero de 2008).

2.3. ANTECEDENTES

La construcción de la planta física del Hospital Regional de Ibarra, se inicia en el año 1983, y luego de una espera de 14 años, fue inaugurada oficialmente el 28 de Septiembre de 1997, previo a un proceso de apertura cuyo plan fue aprobado en sesión extraordinaria el 11 de Septiembre de 1997 por el consejo Superior del IESS de ese entonces, quien conoció los informes Nros.01100-4306 del 9 de Septiembre de 1997 de la Dirección General y 04100-2378 del 8 de Septiembre de 1997 de la Dirección Nacional medico Social. (Vargas, Solano, Granja, & Viscaino, 2011).



Figura 9. Hospital IESS – Ibarra

Fuente: (IESS, 2015)

2.3.1. UBICACIÓN

Por encontrarse en Ecuador, y su ubicación cercana a la línea ecuatorial, se dan características especiales referidas al clima y factores determinantes como la radiación solar. La ubicación detallada se da continuación:

- Provincia: Imbabura
- Cantón: Ibarra
- Ciudad: Ibarra
- Dirección: Av. Víctor Manuel Guzmán s/n y Miguel Egas
- Ubicación geográfica: Latitud (0.36°), Longitud (-78.13°)
- Elevación: 2220 msnm



Figura 10. Ciudad de funcionamiento del centro médico. Ibarra

Fuente: (Google Earth, 2015)



Figura 11. Ubicación dentro de la ciudad de Ibarra

Fuente: (Google Earth,2015)

2.3.2. CLIMA

Los datos de clima y temperaturas mostrados, son proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El “Boletín Climatológico Anual 2013”, analiza las condiciones climatológicas observadas en el Ecuador durante los meses de enero a diciembre, mediante la evaluación de anomalías anuales que han presentado la precipitación, temperatura media del aire, temperatura Máxima media, temperatura Mínima media, temperatura Máxima absoluta y temperatura Mínima absoluta en relación a la normal climatológica 1971-2000 (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2014)

Tabla 5

Datos climáticos para Ibarra

Ciudad	Precipitación			Temperatura del aire						Zona clima
	Normal acum. [mm]	Acumulada anual 2013 [mm]	Días de precipitación 2013	Media normal anual [°C]	Media anual 2013 [°C]	Máxima media normal anual [°C]	Máxima media 2013 [°C]	Mínima media normal anual [°C]	Mínima media 2013 [°C]	
Ibarra	643.8	719.4	141	16.5	17.4	25.3	26.2	5.7	7.7	ZT3

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2014).
(MIDUVI, CCQ, 2011)

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 con una temperatura media normal anual de 16.5 °C, la ubicación corresponde a la **zona climática ZT3** (MIDUVI, CCQ, 2011)

La radiación solar global para la ciudad de Ibarra es de **5250 Wh/m²-día** según (MIDUVI, CCQ, 2011)

Como se puede observar, el clima de la localidad y su ubicación geográfica son favorables, y esto contribuye a la reducción de uso de la energía en calefacción y refrigeración. El hospital no posee estos sistemas dentro de sus instalaciones, a menos que las normas para las diferentes áreas médicas así lo requieran.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

El Hospital IESS – Ibarra, posee ciertas características constructivas y su topología está dada según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP):

- Nivel: Segundo Nivel
- No. de camas: 193 (165 censables)

- Área de construcción: 16713 m²
- No. de trabajadores: 243

2.4. ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL HOSPITAL IESS-IBARRA

2.4.1. SERVICIOS E INSTALACIONES

En la Unidad Médica IESS Hospital de Ibarra, se ofrece atención médica integral correspondiente a patología de mediana complejidad y frecuencia para pacientes ambulatorios o que requieren hospitalización, proporcionada por médicos especialistas de las cuatro ramas básicas: cirugía general, gineco-obstetricia, medicina interna y pediatría, con el apoyo del servicio de anestesiología. Dispone de servicios de diagnóstico y tratamiento a través de laboratorio clínico, gabinete de radiología y servicio de transfusión o banco de sangre. Presta servicios que le permiten apoyar a unidades de menor complejidad y a la vez reciben apoyo de las de complejidad mayor. (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2015).

La cartera de servicios, que presta el Hospital es:

Tabla 6

Servicios ofertados por el Hospital IESS – Ibarra

Cartera de servicios y especialidades	Cartera de procedimientos
Cardiología	Diagnóstico no invasivo
	Consulta externa
	Hospitalización
	Electrocardiogramas
	Ergometría
	Estudios Holter de 24 horas
Cirugía General	Atención de trauma abdominal
	Abdomen agudo inflamatorio
	Apendicetomía
	Laparoscopia diagnóstica y terapéutica
	Manejo de nutrición enteral y parenteral
	Hernioplastia inguinal y epigástrica
Cirugía Pediátrica	General
Cirugía Vasculár	Consulta externa
	Hospitalización
	Safenectomía uni o bilateral
	Escleroterapia
	Eco Doppler vascular
	Tratamiento de úlceras venosas
Dermatología	Consulta externa
	Cirugía Dermatológica
Endocrinología	Consulta externa
	Hospitalización
	Diabetes Mellitus
	Otros desequilibrios hormonales

CONTINÚA ->

Fisiatría	Fisioterapia
	Consulta externa
	Hidroterapia
	Onda corta
	Ultrasonido
	Terapia ocupacional
	Electromiografía
	Prótesis de miembros
	Rehabilitación Neurológica avanzada
	Terapia de parálisis cerebral
	Terapia de lenguaje
Oncología Clínica	Consulta externa
	Transferencia de trámites
Gastroenterología	Endoscopia
	Consulta externa
	Hospitalización

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2015)

2.4.2. RECURSO HUMANO

Hasta el año 2014 el hospital cuenta con el siguiente personal médico:

- Médicos residentes: 34
- Internos rotativos: 16
- Enfermeras: 115
- Auxiliares de enfermería: 78

2.4.3. GASTOS Y PRESUPUESTO

Los gastos del Hospital para los últimos cuatro años fueron:

Tabla 7**Valores contables del IESS Hospital - Ibarra en el último cuatrienio**

Año	Presupuesto [USD]	Ejecución [%]	Gasto [USD]
2011	18.917.659,76	87,52	16.556.735,82
2012	20.915.225,51	84,49	17.671.274,03
2013	16.952.624,98	67,69	11.475.231,85
2014	18.747.866,88	63,96	11.990.818,05

Fuente: (Pizarro), (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2015)

2.4.4. ESPACIO FÍSICO

El Hospital está construido sobre un área de terreno de 42.676 m² y distribuido de acuerdo lo especificado en la Tabla 8. El área de Hospitalización se distribuye en 6 pisos de 25 camas cada uno (15 habitaciones, 5 de uso individual y 10 de uso doble)

Tabla 8**Estructura física del Hospital y área de construcción**

Zona	Área funcional	Área de construcción [m²]
Planta baja	Laboratorio, Esterilización, Nutrición, Lavandería, Emergencia, Cuidados intensivos	8.606,00
Piso 1	Centro Obstétrico, Neonatología, Administración	1.650,25
Piso 2	Hospitalización Clínica	950,25

CONTINÚA →

Piso 3	Cirugía General, Urología	950,25
Piso 4	Traumatología	950,25
Piso 5	Gineco-Obstétrico	950,25
Piso 6	Pediatría	950,25
Piso 7	Cafetería, Ludoteca	445,25
Total Edificio Hospital		15.452
Talleres mantenimiento y máquinas		660,00
Ductos e instalaciones		600,00
Área bruta de construcción		16.713

2.4.5. ORGANIZACIÓN FUNCIONAL

La estructura funcional del Hospital se divide en tres áreas principales (Pizarro):

- El área de Hospitalización y ambulatoria: integra las áreas de Hospitalización y Consulta externa.
- El área de Medicina Crítica: compuesta de la Unidad de cuidados intensivos (UCI), Centro Obstétrico (CO), neonatología, quirófanos y Emergencia.
- El área de Diagnóstico y tratamiento: integra a Imagenología, Anatomía Patológica, Laboratorio y Farmacia
- El área No asistencial.- Que integra las aéreas de atención al público, administrativas y de servicios no asistenciales

En el Anexo 1, se muestra un diagrama de la estructura funcional del Hospital

2.4.6. ÍNDICES ESTADÍSTICOS FUNCIONALES.

El IESS Hospital Ibarra, al igual que el resto del país ha tenido un crecimiento de la población afiliada objetivo, misma que en el año 2013 fue de 88.471 afiliados, siendo para el año 2015 de 137.757 afiliados (Pizarro).

La demanda efectiva del Hospital durante el periodo 2013, de acuerdo a estadísticas, se atendieron a 135000 afiliados en Hospitalización y Consulta externa; y 35000 usuarios en Emergencia

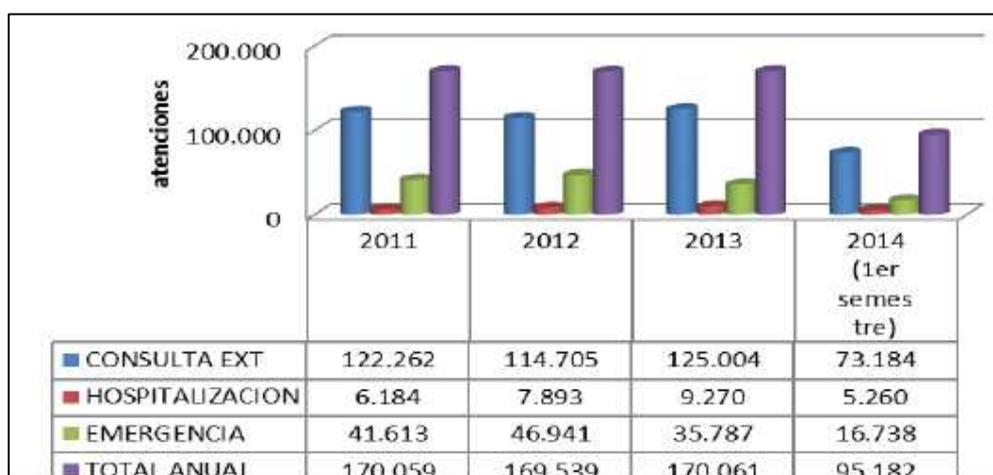


Figura 12. Producción general anual del Hospital IESS – Ibarra

Fuente: (Pizarro)

En base a información proporcionada por el departamento de Estadística del Hospital, para el año 2013 el Hospital tuvo una capacidad aumentada desde 145 a 165 camas a partir del mes de octubre, que da un promedio anual de **151 camas** censables. La **ocupación promedio anual es del 83%**.

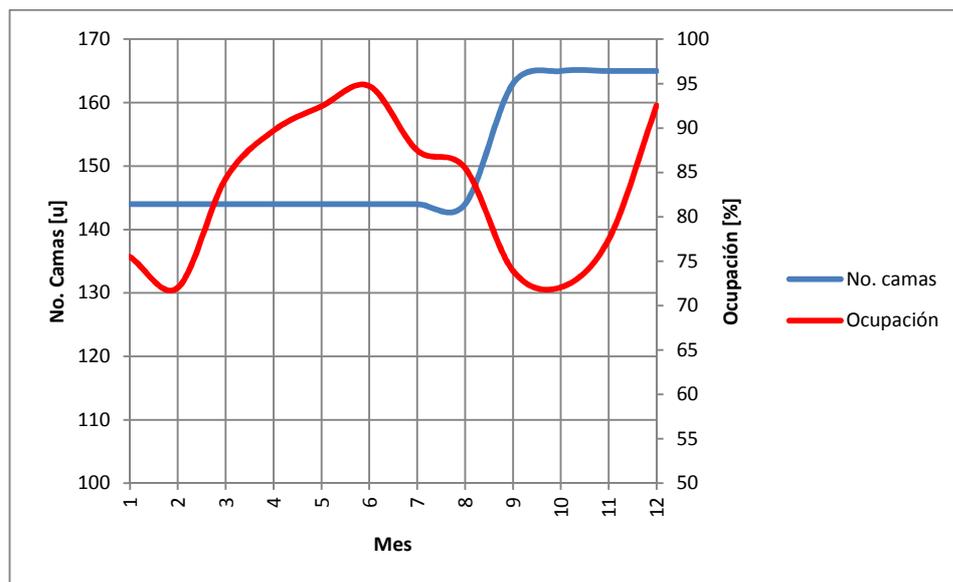


Figura 13. Ocupación y número de camas censables para el año 2013 – Hospital IESS - Ibarra

Otro indicador es el Número de atenciones realizadas durante el mismo periodo en Consulta externa y en el área de Emergencias.

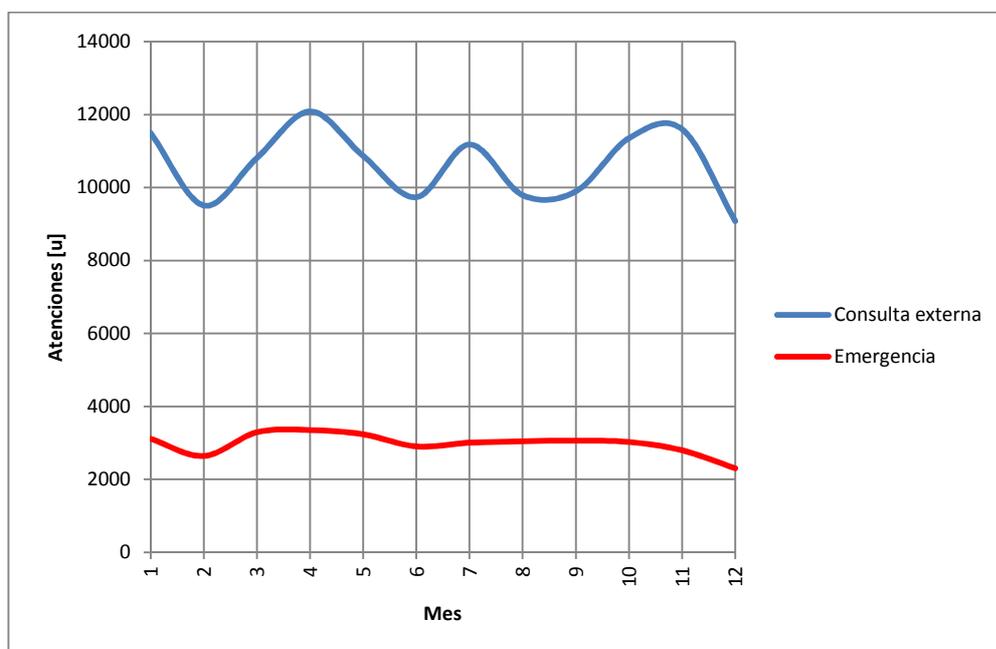


Figura 14. Atenciones realizadas en el año 2013 – Hospital IESS - Ibarra

2.5. ESTADO DEL ARTE DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA EN EL HOSPITAL IESS-IBARRA

De acuerdo al Manual del gestor energético para el Sector Hospitalario, es necesario destacar que existen diversas variables para un estudio energético como (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2013):

- Años de servicio del hospital: 17 años (1983)
- Horas de funcionamiento diarias: 24 horas
- Número de pacientes: 165 camas censables

2.5.1. PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL

Los principales sistemas existentes en el Hospital se clasifican según la fuente de energía que utilizan:

1. El Sistema eléctrico
2. El Sistema térmico, que usa combustibles fósiles

Los subsistemas de agua potable y residual, vacío, gases medicinales, y otros subsistemas, poseen equipos y máquinas que obtienen energía de los sistemas eléctrico y térmico, siendo estos dos últimos, los únicos sistemas a considerar.

2.5.1.1. SISTEMA ELÉCTRICO

Este sistema no toma parte de este estudio, que sólo trata de la optimización y eficiencia energética del consumo de energía térmica, mas a continuación se enumera los principales subsistemas y equipos consumidores:

- Subsistema de iluminación
- Subsistema vacío y de gases medicinales

- Equipos de rayos X
- Motores eléctricos: ascensores, bombas para los sistemas de agua fría, bombas para los sistemas de vapor y agua caliente, ventiladores, compresores, extractores, lavadoras, secadoras, otros
- Equipos de refrigeración
- Calentadores de agua
- Equipos médicos
- Computadores y electrodomésticos
- Otros

Es importante notar que no existe en el Hospital un sistema de calefacción y/o aire acondicionado centralizado debido al clima y geografía de la ciudad de Ibarra como se puede ver en la sección 2.3.2.

2.5.1.2. SISTEMA TÉRMICO – GLP

El GLP tiene uso únicamente en el área de dietética del hospital para la cocción de alimentos, con consumos que se indican en el Anexo 2. Como alternativa para reducir el uso de GLP y aprovechar mejor el calor proveniente del sistema de vapor, se propondrá el uso adecuado de las marmitas instaladas en la Cocina del centro médico.

2.5.1.3. SISTEMA TÉRMICO - DIESEL

Se usa Diesel No.2 como combustible para:

- Funcionamiento del grupo electrógeno auxiliar al sistema eléctrico que debido a la continuidad del servicio eléctrico no registra consumos importantes y se excluye de este estudio.
- Generación de vapor de agua a través de un Caldero industrial para el uso en diversos equipos y servicios, detallados luego.

La importancia del análisis y mejora energética está en el **Sistema de Vapor**, que se analiza con detalle en este estudio.

2.5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL

Como se indica en la sección anterior, el GLP no es objeto de estudio dentro del sistema y se excluye el grupo electrógeno de apoyo al sistema eléctrico.

El Sistema de Vapor, genera vapor de agua mediante un caldero pirotubular ubicado en casa de máquinas de 200 bhp (ver Anexo 3), instalado desde la finalización de la construcción del Hospital en el año 1997. Este equipo provee de vapor a las siguientes áreas:

- Dietética y Alimentación
- Lavandería
- Esterilización
- Lavachatas ubicadas en algunos pisos del edificio (en desuso)
- Interacumulador de calor para ACS
- Intercambiador de calor para Piscina

Se utiliza diesel No 2 como combustible, y electricidad para controles y dispositivos eléctricos. La dotación de combustible al caldero, se realiza a través de sus propios tanques de almacenamiento diario y quincenal. El agua de alimentación de los calderos, actualmente no cuenta con un sistema de ablandamiento, pero es tratada mediante el uso de una bomba dosificadora de químicos hacia el tanque de condensado de tipo atmosférico.

El diagrama unifilar del sistema se puede ver en los planos del anexo 17. Y la descripción de los equipos en la Tabla 11.

Distribución del vapor

El caldero trabaja a una presión controlada de 5 barg hasta 6 barg, y el vapor se reparte para cada uno de los servicios del Hospital en un cabezal de distribución.

Lavandería y Cocina, poseen en sus instalaciones, cada uno una estación reductora de presión ERP-L y ERP-C, respectivamente. Estas ERP no están en funcionamiento, ya que se registra la misma presión de caldero a la entrada y salida hacia los equipos.

Para el área de Esterilización se realiza una reducción de presión en la misma instalación a través de una estación reductora de presión (ERP-E) a 40 psi (2,76 bar) para la alimentación de las autoclaves.

El agua caliente sanitaria usada en todo el edificio se obtiene a través la circulación continua de ACS que pasa por dos tanques interacumuladores de calor de serpentín ubicados en la casa de máquinas, cada uno posee una estación reductora de presión ERP-A1 y ERP-A2 que no funcionan. La presión de entrada a los intercambiadores, es la misma del caldero. Los interacumuladores almacenan cada uno aproximadamente 5000 litros de agua caliente a una temperatura entre 70 y 80 °C.

En el área de rehabilitación se halla instalada una piscina de 42 m³ de capacidad. Aquí se halla un intercambiador de calor de construcción artesanal con un reductor de presión a la entrada, calibrado a 50 psig. El agua de la piscina se mantiene a una temperatura promedio de 34,1 °C.

La caldera posee el aislamiento térmico de fábrica y es importante indicar que el tanque de condensado y el intercambiador de calor de la piscina no están aislados.

Los interacumuladores de ACS, poseen un aislamiento de lana de vidrio de aproximadamente 3 pulgadas de espesor y recubrimiento externo de lámina de aluminio.

Red de vapor y ACS

La red principal de vapor y ACS se encuentra instalada en un ducto bajo el edificio y suben para distribuirse por dos ductos verticales. La tubería de distribución de vapor y retorno de condensado, se compone de tuberías de diferentes diámetros indicados en los planos del anexo 17 y la descripción en la 0. Está en su mayor parte aislada con lana de vidrio, existen claros sin aislamiento donde se hallan elementos como trampas de vapor, válvulas y apoyos de la tubería. Tampoco está aislada la tubería cercana a los equipos de consumo y no tiene un correcto aislamiento la tubería al interior de la casa de máquinas.

La tubería principal de distribución (4in) y retorno (3in) de ACS es de acero, sin aislamiento.

Las Estaciones de trampa de vapor (ETV) y/o trampa de vapor, están instaladas en la línea de distribución de vapor, en las ERP y en cada equipo de vapor. A excepción de Esterilización se encuentran en mal estado y su correcto funcionamiento no está garantizado, generando problemas en el funcionamiento de los equipos.

Los elementos que conforman la producción y distribución del sistema de vapor se en listan a continuación:

Tabla 9

Elementos de generación de vapor

ID	No.	Equipo	Marca, Modelo	Estado	Características Técnicas	Imagen
	1	Caldero	Superior Mohawk 4-5-1024	Bueno	Potencia nominal: 200 bhp Presión max: 150 psi Presiones de trabajo seteadas a: - P min: 30 psi + 80 psi proporcional - P max: 87 psi – 16 psi diferencial - P lim: 100 psi	
	1	Quemador	Industrial Combustion DL-105P	Bueno	- Totalmente modulante - Ventilador 10HP	
	1	Bomba de alimentación de agua a la caldera	s/n	Bueno	- Motor eléctrico: EMERSON / ELTA7E2D - Potencia: 7,5 HP	
	1	Tanque de Condensado atmosférico	s/n	Bueno	- Sin aislamiento - D = 1,07m - L = 2,50m - Material: Acero - Capacidad aprox. 2,20 m3	

CONTINÚA ->

1	Ablandador	Culligan 01017239	Malo	No funciona	
1	Bomba de alimentación de químicos al condensado	s/n	Bueno	Bueno	

Tabla 10

Elementos de distribución de vapor y ACS

ID	Elemento	Características Técnicas	Estado	Observaciones	Imagen
	Cabezal de distribución de vapor	<ul style="list-style-type: none"> - Aislado - D = 0,30m - L = 2,90m - Entrada de caldero: 2,5 in - Salida Lavandería: 2 in - Salida Cocina: 1,25 in - Salida Esterilización: 1,25 in - Salida Lavachatas: 1 in - Salida ACS: 2 in - Válvula de seguridad: 150 psig - Lavandería: 2in (135 m) - Cocina: 1,25 in (85 m) 	Regular	Presión de todas las salidas igual a Presión del caldero	
	Red de tubería de vapor	<ul style="list-style-type: none"> - Esterilización: 1,25 in (125 m) - Lavachatas: 1 in (150 m) - Piscina: ½ in (120 m) 	Regular	<p>Aislada con lana de vidrio, elementos y tramos sin aislamiento</p> <p>ERP no funcionan</p> <p>Sch 40</p>	

CONTINÚA →

Red de tubería de retorno de condensado	Ducto: 2in (55 m) 1in (55 m) Servicios: 1in (220 m)	Regular	Aislada con lana de vidrio, Trampas de vapor defectuosas Sch 40	
Red de tubería principal de ACS	Tubería de ACS: 4in (90 m) 3in (135 m) Tubería de retorno: 3in (90 m) 2,5in (135 m)	Bueno	No aislada Material: Acero galvanizado Tubería interna del edificio, no entra en estudio, solo tubería de ductos Sch 40	
Bomba centrífuga de circulación de ACS	Marca: Mark Modelo: DC 6 Serie: 3104P 07 7 Potencia: 1.5kW a 3500 rpm ØRotor: 118 mm Construcción: Hierro fundido (rotor, carcasa)	Bueno	Funcionamiento: Continuo (24h)	

Los elementos y máquinas que utilizan vapor para su funcionamiento se pueden revisar en los Anexo 17 correspondiente a los planos del Hospital.

Tabla 11

Elementos de consumo de vapor y ACS

ID	No.	Equipo	Marca	Uso y estado	Características técnicas	Imagen
L-L1	1	Lavadora	Girbau LS-355 SM-V	Bueno	Capacidad: 55kg Potencia vapor: 135 kW (placa) – 13,76 bhp Potencia eléctrica: 3,8 kW (placa)	
L-L2	1	Lavadora	Milnor 42026Q4J	Bueno	Capacidad: 60kg Potencia vapor: 15 bhp (estimada)	
L-S1	1	Secadora	Girbau STI-34	Bueno	Capacidad: 34kg (75lb) Potencia vapor: 6,9 bhp (catálogo) Potencia eléctrica: 1,5 kW (catálogo) Pmax: 100 psig	

CONTINÚA ->

L-S2	1	Secadora	Cisell L44CD42S	Bueno	Capacidad: 50kg (110lb) Potencia vapor: 7,87 bhp (catálogo) Intercambiador: 4 bobinas Pmax: 100 psig	
L-S3	1	Secadora	Cisell L36URS36S	Bueno	Capacidad: 34kg (75lb) Potencia vapor: 6.4 bhp (catálogo) Condensado: 221 lb Intercambiador: 6 bobinas Pmin: 15 psig Pmax: 100 psig	
L-S4	1	Secadora	Cisell HD110S	Bueno	Capacidad: 50kg (110lb) Potencia vapor: 9.5 bhp (placa) Intercambiador: 6 bobinas Pmax: 100 psig	
L-C1	1	Calandria	Sharper Finish SR 1600x120	Regular	Potencia vapor: 1,75 bhp (placa) Potencia eléctrica: 1,83 kW (catálogo) Pmax: 100 psig	

CONTINÚA ->

L-P1	2	Prensa	Unipress C51	Bueno	Potencia vapor: 1 bhp (estimado) Pmax: 125 psig	
C-M1	2	Marmita	Legion LP-40	Bueno	Marmita volcable Capacidad: 40 gal. Potencia vapor: 2,17 bhp (estimado) P: 30 psig	
C-H1	1	Horno	Cleveland Range PDL3	Bueno	Compartimentos: 3 Potencia vapor: 1 bhp (mantenimiento) Pmax: 50 psig Pmin: 12 psig	
E-E1	1	Esterilizador	Getinge HS 6613 AR-2	Bueno	Capacidad: 525lt Potencia vapor: 7,23 bhp (250 lbv/h, mantenimiento) Potencia eléctrica: 3 kW (placa) Pmax: 40 psig (2,6bar) Temperatura: 20- 143 °C	

CONTINÚA ->

H-L1	4	Lavachata	Sakura BS5	Bueno / en desuso	-	
P-11	1	Intercambiador Piscina	Fabricación artesanal	Bueno	- Presión in: 50 psi - Sin aislamiento - D = 1,75m - L = 0,60m - Material: Acero	
A-11 A-12	2	Interacumulador de Agua Caliente	s/n	Bueno	- Tipo: serpentín - Capacidad: 5 m3 - D = 1,30m - L = 4,40m - Material: Acero i - Aislamiento: lana de vidrio 3in + Chapa de lámina de Aluminio	

2.5.3. COSTOS ENERGÉTICOS

Los costos asociados al uso energético para el año 2013 se muestran en la figura. Los datos se encuentran en el Anexo 2 y se obtuvieron de los reportes generados por el departamento de estadística del centro médico.

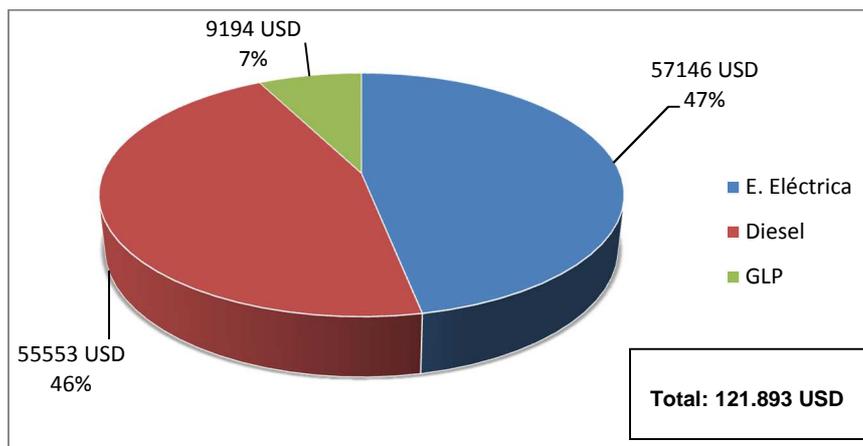


Figura 15. Costos asociados a la energía. Hospital IESS – Ibarra (2013)

Las oportunidades de ahorro económico se presentan por igual en el consumo de energía eléctrica y en el caso de consumo de Energía térmica, es de mayor relevancia el uso de Diesel.

2.5.4. MATRIZ DE CONSUMO DE ENERGÍA

La matriz energética que muestra la cantidad de energía consumida en el año 2013 por los sistemas antes mencionados se ve en el la Figura 16. El principal consumo energético se halló:

- El consumo total de energía es de **3248,85 MWh**
- El GLP utilizado en la cocina en el año 2013 tuvo un costo de **9194,80 USD** según registros de estadística. Utilizando el poder calorífico de 457 kJ/kg y un costo específico de 54,75 USD por el tanque de uso industrial de 45kg. Se calculó un consumo anual de energía bruta térmica de **99,49 MWh**

Energía eléctrica para iluminación y funcionamiento de equipos, que alcanzó para el año 2013 los **844,80 MWh eléctricos**. Registrados en planillas de pago de la empresa local de suministro de servicio eléctrico

EMELNORTE. Es necesario revisar la importancia en el consumo eléctrico de los sistemas de iluminación y potencia, para aplicar el plan de eficiencia energética.

Energía del diesel utilizada en los calderos para la producción de vapor y agua caliente sanitaria, el consumo anual de diesel registrado por el área de mantenimiento es **55553,52 USD**. El costo del diesel de 0.9858 USD/gal, utilizando el poder calorífico superior de 45754,3 kJ/kg (Pérez, 2012) y una densidad de 850 kg/m³. Se calculó un consumo anual de energía bruta térmica de **2304,56 MWh**

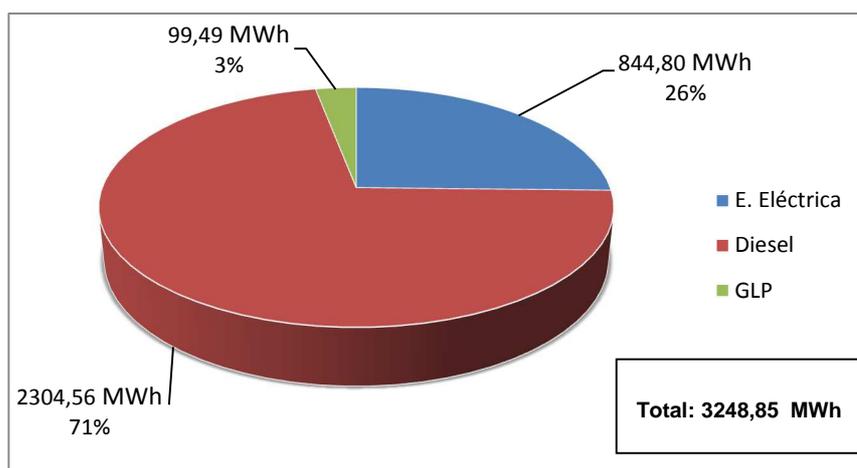


Figura 16. Matriz de consumo de energía. Hospital IESS – Ibarra (2013)

Adicionalmente en la Tabla 12, se puede ver los costos y consumos mensuales, se muestra el costo unitario de la energía, donde se interpreta que la EE es más rentable aplicarla al uso de Energía Eléctrica, ya que el costo unitario es más alto, es decir por cada unidad de energía ahorrada, habrá un mayor retorno económico.

Tabla 12

Diagnóstico energético. Hospital IESS - Ibarra

Diagnóstico Energético			
	Diesel	E. Eléctrica	GLP
Costo			
[USD/mes]	4629,42	4762,17	766,17
Cantidad	4696,15	70400	629,78
[u/mes]	[Galones]	[kWh]	[kg]
Energía			
[kWh/mes]	192046,49	70400	8290,72
Costo unitario			
[USD/kWh]	0,024	0,067	0,092

La oportunidad de ahorro energético está en el sistema térmico, específicamente en el uso de Diesel con un **71%** del uso global de la energía. **El enfoque de este trabajo de investigación está en priorizar el ahorro de energía, para luego reducir los costos asociados al consumo de energía.**

2.5.5. INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Los indicadores de eficiencia energética propuestos están basados en las recomendaciones dadas por la AChEE (ver sección 2.2) de manera que puedan ser comparados con los estudios antes indicados.

2.5.5.1. INDICADORES DE EFICIENCIA GLOBALES EN UNIDADES DE ENERGÍA (IEG-E)

- **IEG-E1**

$$IEG - E1 = \text{Consumo total anual energía} \quad [MWh/año]$$

Donde:

Consumo total anual energía : Consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [MWh / año]

- **IEG-E2**

$$IEG - E2 = \frac{\text{Consumo total anual energía}}{\text{Área bruta de construcción}} \quad [kWh/m^2 - año]$$

Donde:

Consumo total anual energía : Consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [kWh / año]

Área bruta de construcción : El área de construcción que suma el edificio del Hospital, las áreas de mantenimiento, ductos e instalaciones. [m²]

- **IEG-E3**

$$IEG - E3 = \frac{\text{Consumo total anual energía}}{\text{Cama ocupada}} \quad [MWh/cama - año]$$

$$= \frac{\text{Consumo total anual energía}}{\text{Cama censable} \times \text{Ocupación}} \quad [MWh/cama - año]$$

Donde:

Consumo total anual energía : Consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [MWh / año]

Cama ocupada : El número de camas (censables) promedio del año, multiplicadas por la ocupación del Hospital promedio del año. [cama]

2.5.5.2. INDICADORES DE EFICIENCIA GLOBALES EN TÉRMINOS DEL COSTO DE LA ENERGÍA (IEG-C)

- **IEG-C1**

$$IEG - C1 = \text{Costo total anual de energía} \quad [USD/año]$$

Donde:

Costo total anual de energía : Costo por el consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [USD / año]

- **IEG-C2**

$$IEG - C2 = \frac{\text{Costo total anual de energía}}{\text{Área bruta de construcción}} \quad [USD/m^2 - año]$$

Donde:

Costo total anual de energía : Costo por el consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [USD / año]

Área bruta de construcción : El área de construcción que suma el edificio del Hospital, las áreas de mantenimiento, ductos e instalaciones. [m²]

- **IEG-C3**

$$IEG - C3 = \frac{\text{Costo total anual de energía}}{\text{Cama ocupada}} \quad [\text{USD/cama} - \text{año}]$$

$$= \frac{\text{Costo total anual de energía}}{\text{Cama censable} \times \text{Ocupación}} \quad [\text{USD/cama} - \text{año}]$$

Donde:

Costo total anual de energía : Costo por el consumo global de energía en un año que incluye la energía eléctrica y la energía térmica del GLP y diesel. [USD / año]

Cama ocupada : El número de camas (censables) promedio del año, multiplicada por la ocupación del Hospital promedio del año. [cama]

2.5.5.3. INDICADORES DE EFICIENCIA DEL SISTEMA TÉRMICO EN UNIDADES DE ENERGÍA (IET-E)

- **IET-E1**

$$IET - E1 = \text{Consumo total anual energía térmica} \quad [\text{MWh/año}]$$

Donde:

Consumo total anual energía térmica : Consumo de energía térmica en un año que incluye al GLP y diesel. [MWh / año]

- **IET-E2**

$$IET - E2 = \frac{\text{Consumo total anual energía térmica}}{\text{Área bruta de construcción}} \quad [\text{kWh/m}^2 - \text{año}]$$

Donde:

Consumo total anual energía térmica : Consumo de energía térmica en un año que incluye al GLP y diesel. [kWh / año]

Área bruta de construcción : El área de construcción que suma el edificio del Hospital, las áreas de mantenimiento, ductos e instalaciones. [m²]

- **IET-E3**

$$\begin{aligned}
 IET - E3 &= \frac{\text{Consumo total anual energía térmica}}{\text{Cama ocupada}} \quad [\text{MWh/cama} - \text{año}] \\
 &= \frac{\text{Consumo total anual energía térmica}}{\text{Cama censable} \times \text{Ocupación}} \quad [\text{MWh/cama} - \text{año}]
 \end{aligned}$$

Donde:

Consumo total anual energía térmica : Consumo de energía térmica en un año que incluye al GLP y diesel. [MWh / año]

Cama ocupada : El número de camas (censables) promedio del año, multiplicado por la ocupación del Hospital promedio del año. [cama]

- **IET-E4**

$$\begin{aligned}
 IET - E4 &= \frac{\text{Potencia térmica instalada}}{\text{Cama ocupada}} \quad [\text{kW/cama}] \\
 &= \frac{\text{Potencia térmica instalada}}{\text{Cama censable} \times \text{Ocupación}} \quad [\text{kW/cama}]
 \end{aligned}$$

Donde:

Potencia térmica instalada : Potencia de los equipos de que producen energía térmica a través de la quema de combustible. Para este indicador solo se tomó en cuenta la potencia del caldero en funcionamiento. [kW].

$P_{\text{caldero}} = 250 \text{ bhp} = 2453 \text{ kW}$, ver Anexo 3

Cama ocupada : El número de camas (censables) promedio del año, multiplicado por la ocupación del Hospital promedio del año. [cama]

2.5.5.4. INDICADORES DE EFICIENCIA DEL SISTEMA TÉRMICO EN TÉRMINOS DEL COSTO DE LA ENERGÍA (IET-C)

- **IET-C1**

$$IET - C1 = \text{Costo total anual de energía térmica} \quad [USD/año]$$

Donde:

Costo total anual de energía térmica: Costo por el consumo total de energía térmica en un año que incluye al GLP y el diesel. [USD / año]

- **IET-C2**

$$IET - C2 = \frac{\text{Costo total anual de energía térmica}}{\text{Área bruta de construcción}} \quad [USD/m^2 - año]$$

Donde:

Costo total anual de energía térmica : Costo por el consumo total de energía térmica en un año que incluye al GLP y el diesel. [USD / año]

Área bruta de construcción : El área de construcción que suma el edificio del Hospital, las áreas de mantenimiento, ductos e instalaciones. [m²]

- **IET-C3**

$$IET - C3 = \frac{\text{Costo total anual de energía térmica}}{\text{Cama ocupada}} \quad [USD/cama - año]$$

$$= \frac{\text{Costo total anual de energía térmica}}{\text{Cama censable} \times \text{Ocupación}} \quad [\text{USD/cama} - \text{año}]$$

Donde:

Costo total anual de energía térmica : Costo por el consumo total de energía térmica en un año que incluye al GLP y el diesel. [USD / año]

Cama ocupada : El número de camas (censables) promedio del año, multiplicado por la ocupación del Hospital promedio del año. [cama]

CAPITULO 3 PROPUESTA Y DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN EL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL

3.1. DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DEL SISTEMA TÉRMICO.

El análisis del sistema térmico del hospital corresponde a un balance de energía consumida en un intervalo de tiempo grande como, una semana, un mes, o un año. Según la primera ley de la termodinámica:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema}$$

La energía que entra al sistema depende de la cantidad de combustible y la energía que sale es la suma de los consumos energéticos y las pérdidas totales del sistema. Dentro del período de tiempo grande a tomar en cuenta la energía acumulada es despreciable y el análisis se idealiza como un proceso de flujo estacionario, representado en la figura y está dado por:

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

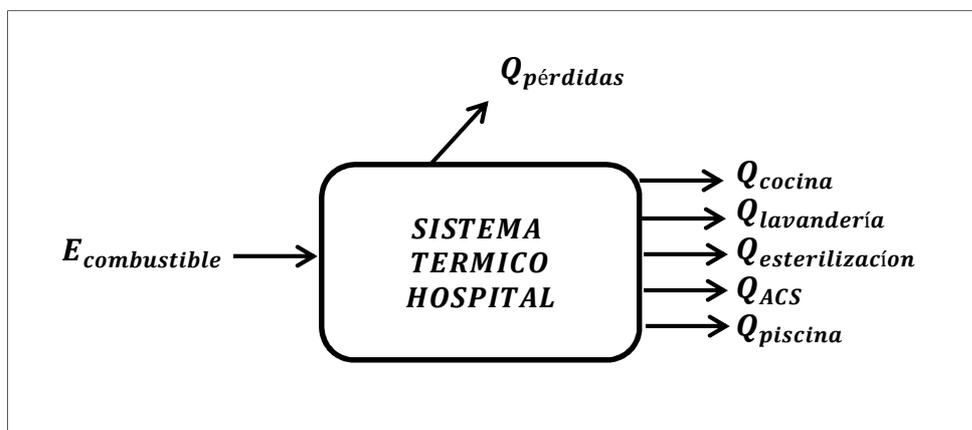


Figura 17. Balance de energía del sistema térmico del Hospital

Para detallar los procesos dentro del sistema térmico se divide en dos procesos en serie, primero el proceso de la caldera y seguido de otro para el sistema de vapor. Se realiza el correspondiente balance de energía

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

Entonces:

$$E_{combustible} - (Q_{pérdidas,caldera} + E_{purgas}) - E_{vapor} = 0$$

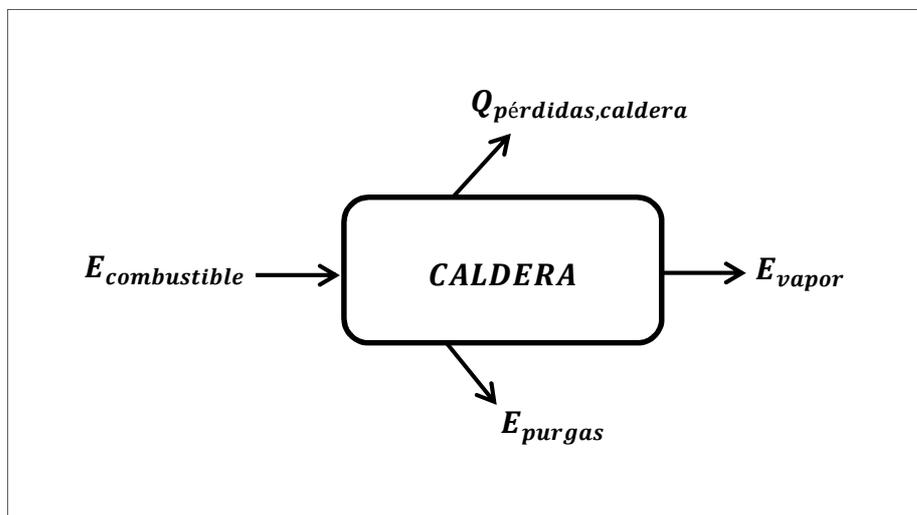


Figura 18. Balance de energía de la caldera

Para el sistema de distribución de vapor que contiene a los elementos de distribución, consumo de vapor y ACS :

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

Entonces:

$$E_{vapor} - \left(Q_{pérdidas\ calor} + E_{fugas} + E_{condensado\ no\ recuperado} \right) -$$

$$(Q_{cocina} + Q_{esterilización} + Q_{lavandería} + Q_{ACS} + Q_{piscina}) = 0$$

Ecuación 1. Balance de energía del sistema de distribución de vapor

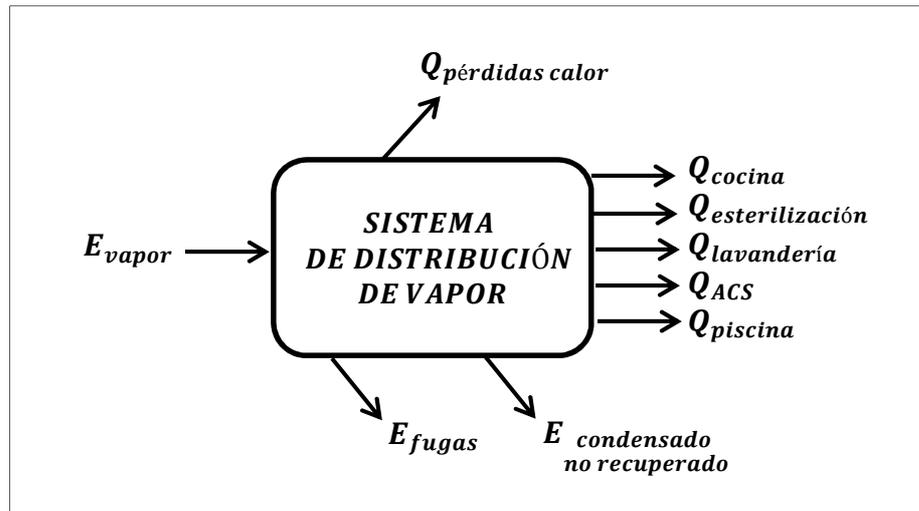


Figura 19. Balance de energía del sistema de distribución de vapor

3.1.1. CALDERA

3.1.1.1. ENERGÍA DEL COMBUSTIBLE ($E_{combustible}$)

$$E_{combustible} = m_d \cdot PCS, kJ$$

o

$$E_{combustible} = V_d \cdot \rho_d \cdot PCS, kJ$$

Ecuación 2. Energía del combustible

Donde:

m_d : Masa de diesel ocupado durante el intervalo de tiempo Δt [kg]

PCS : Poder calorífico superior del diesel, ver 3.1.1.2, literal B [kJ/kg]

V_d : Volumen de diesel ocupado durante el intervalo de tiempo Δt [m³]

ρ_d : Densidad del diesel, 850 [kg/ m³]

3.1.1.2. PÉRDIDAS EN LA CALDERA ($Q_{perdidas,caldera}$)

Para determinar las pérdidas de la caldera, es necesario calcular la eficiencia de la caldera, en base a la norma ASME PTC4-2008, a fin de tener una estándar de comparación con otras fuentes de energía y/o otras configuraciones en el caso de implementación o cambios en la fuente térmica de energía. Es importante esta comparación bajo un mismo criterio si se analiza la eficiencia de calderos y/o fuentes de energía térmica en otros hospitales. Las pérdidas en la caldera para el intervalo de tiempo requerido, se calculan por:

$$Q_{perdidas,caldera} = \left(1 - \frac{n_{caldera}}{100}\right) \cdot E_{combustible}, kJ$$

Ecuación 3. Pérdidas de la caldera

Donde:

$n_{caldera}$: Eficiencia de la caldera según ASME PTC4-2008 [%]

$E_{combustible}$: Energía del combustible gastado durante el intervalo de tiempo Δt [kJ]

Eficiencia de la caldera

La eficiencia total de la caldera es:

$$n_{caldera} = 100 - L_{gs} - L_{H2} - L_{H2O} - L_{CO} - L_{NOx} - L_q, \%$$

Eficiencia de la combustión

La eficiencia de la combustión corresponde al porcentaje de energía aprovechada durante la combustión del diesel y es igual a la eficiencia total del caldero menos las pérdidas de convección y radiación.

$$n_{combustion} = 100 - L_{gs} - L_{H2} - L_{H2O} - L_{CO} - L_{NOx}, \%$$

Ecuación 4. Eficiencia de la combustión

$$n_{combustion} = n_{caldera} - L_q, \%$$

Donde:

L_{gs} : Pérdida en gases secos [%]

L_{H2} : Pérdida por el agua formada en la combustión de H2 del combustible [%]

L_{H2O} : Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos [%]

L_{CO} : Pérdida por CO en los gases de combustión [%]

L_{NOx} : Pérdida por la formación de NOx [%]

L_q : Pérdida por radiación y convección de la superficie [%]

El cálculo de la eficiencia de la caldera requiere encontrar medir y calcular algunas variables:

A. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Los resultados del análisis de los gases de combustión debe presentarse en base seca, bajo el seguimiento de una norma o proceso establecidos, los datos mínimos necesarios son:

Tabla 13

Análisis de gases de combustión de la caldera

Parámetro	Unidades comunes
Monóxido de carbono (CO)	ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	%
Óxido de azufre (SO ₂)	ppm
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	ppm
Oxígeno (CO)	%
Presión barométrica	Pa
Temperatura chimenea	°C

Algunos elementos que se dan como dato en ppm deben convertirse a porcentaje o fracción.

B. PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE

Poder calorífico superior (PCS)

El poder calorífico superior del Diesel No.2, hallado en un estudio realizado en Quito, aplicada la norma ASTM D240, según (Pérez, 2012) es:

$$PCS = 45754,3 \frac{kJ}{kg}$$

Análisis del combustible

Los datos del análisis de combustible se obtienen para una muestra típica según (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2012) y se muestran a continuación

Tabla 14
Composición típica del Diesel No.2

Componente	Símbolo	Masa [%]	Peso molecular [kg / kmol]
Carbono	C_c	85,9	12
Hidrógeno	H_{2c}	12,0	2
Oxígeno	O_{2c}	0,7	32
Nitrógeno	N_{2c}	0,5	28
Azufre	S_c	0,5	32
Agua	H_2O_c	0,4	18

C. ENTALPÍAS

La distinción de entalpía del vapor (HSt) versus la entalpía del vapor de agua (HWv), es que HSt es la entalpía del vapor con respecto al agua líquida a 32°F (0°C) como referencia, en acuerdo a las Tablas de Vapor de la ASME, e incluye el calor latente de vaporización del agua, donde HWv es la entalpía del vapor de agua con respecto a la entalpía del vapor de agua a 77°F (25°C) como referencia (donde es cero)

C.1 Coeficientes de entalpía para correlación abreviada JANAF/NASA

Las curvas de entalpía/temperatura para los diferentes constituyentes, están basadas en la siguiente correlación. La temperatura de referencia es 77 °F (25 °C).

$$h_k = C_0 + C_1 \cdot TK + C_2 \cdot TK^2 + C_3 \cdot TK^3 + C_4 \cdot TK^4 + C_5 \cdot TK^5, \text{Btu/lb}$$

Donde:

h_k : Entalpía del constituyente [Btu/lb]

TK : Temperatura de los gases de combustión en Kelvin [K]

Coeficientes para los gases de combustión en seco para temperaturas de 255K a 1000K

Los coeficientes se basan en una composición de 15,3% CO₂; 3,5% O₂; 0,1% SO₂ y 81,1% de nitrógeno atmosférico por volumen. La entalpía de los gases secos de combustión no varía significativamente ya que el mayor componente es el nitrógeno atmosférico. Estos coeficientes son válidos para combustibles quemados con menos del 300% de exceso de aire (ASME, 2009)

$$C0 = -0,1231899E + 03$$

$$C1 = +0,4065568E + 00$$

$$C2 = +0,5795050E - 05$$

$$C3 = +0,3881121E - 07$$

$$C4 = -0,2924434E - 10$$

$$C5 = +0,2491009E - 14$$

C.2. Entalpía del vapor (steam) o agua a 1psia

$$h_{st} = 0,4329 \cdot T + ((3,958 \cdot 10^{-5}) \cdot T^2) + 1062,2, \frac{Btu}{lb}$$

Donde:

h_{st} : Entalpía del vapor [Btu/lb]

T_{gs} : Temperatura de los gases de combustión [°F]

C.3. Entalpía del Agua a la temperatura de referencia

$$h_{w,ref} = (TRe - 32), \frac{Btu}{lb}$$

Donde:

TRe : Temperatura de referencia, 77 °F

D. PROPIEDADES DEL AIRE DE COMBUSTIÓN

El aire (ASME, 2009) se basa en una composición de: 0,20946 O₂; 0,78102 N₂; 0,00916 Ar; 0,00033 CO₂ moles por mol de aire, dando un promedio de un peso molecular de 28,9625. Para cálculos el “nitrógeno atmosférico”, incluye el argón y otras trazas de elementos.

Composición volumétrica: 20,95% O₂; 79,05% N₂

Composición gravimétrica: 23,14% O₂; 78,86% N₂

D.1. Humedad del aire

La humedad del aire se calcula por:

$$Hu = 0,622 \cdot \frac{P_{Wv/a}}{P_{atm} - P_{Wv/a}}, kgH_2O/kg \text{ aire seco}$$

Donde:

P_{Wv/a}: Presión parcial del vapor de agua en el aire [psia]

P_{atm} : Presión atmosférica [psia]

Presión de saturación del vapor de agua a temperatura de bulbo seco

La curva es válida para temperaturas de 0°C a 60°C

$$P_{sat,bs} = C1 + C2 \cdot Ta + C3 \cdot Ta^2 + C4 \cdot Ta^3 + C5 \cdot Ta^4 + C6 \cdot Ta^5, psia$$

Donde:

Ta : Temperatura del aire [°F]

$$\begin{aligned} C1 &= 0,019257 \\ C2 &= 1,289016E - 3 \\ C3 &= 1,211220E - 5 \\ C4 &= 4,534007E - 7 \\ C5 &= 6,841880E - 11 \\ C6 &= 2,197092E - 11 \end{aligned}$$

Presión parcial del vapor de agua en el aire

$$P_{Wv/a} = 0,01 \cdot Hr \cdot P_{sat,bs}, psia$$

Donde:

Hr : Temperatura relativa [%]

P_{sat,bs} : Presión de saturación del vapor de agua a temperatura de bulbo seco [psia]

D.2. Aire teórico

El aire teórico es la cantidad mínima ideal de aire para la combustión completa, el CO y NOx no tienen un impacto significativo en el cálculo y son despreciables cuando son menores a 1000 ppm (0.1%)

El porcentaje en masa del aire teórico es:

$$m_{a/c} = 0,1151 \cdot C_c + 0,3429 \cdot H_{2c} + 0,0431 \cdot S_c - 0,0432 \cdot O_{2c}, \frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ comb.}}$$

Donde:

C_c : Porcentaje en masa de carbono en el combustible [%]

H_{2c} : Porcentaje en masa de hidrógeno en el combustible [%]

S_c : Porcentaje en masa de azufre en el combustible [%]

O_{2c} : Porcentaje en masa de oxígeno en el combustible [%]

Por cada kg de combustible, se tiene que para una combustión estequiométrica:

$$\bar{n}_{a/c} = \frac{m_{a/c}}{PCS \cdot 28,9625}, kmol \text{ aire / kg comb.}$$

Donde:

$\bar{n}_{a/c}$: Mol de aire teórico por kg de combustible [kmol aire / kg combustible]

$m_{a/c}$: Fracción en masa del aire teórico [kg aire / kg combustible]

PCS : Poder calorífico superior del diesel, ver 3.1.1.2, literal B [kJ/kg]

D.3. Exceso de aire

Las moles de productos secos de la combustión de combustible

$$\bar{n}_{ps} = \frac{C_c}{1201,1} + \frac{S_c}{3206,5} + \frac{N_{2c}}{2801,34}, kmol/kg \text{ comb.}$$

Donde:

C_c : Porcentaje en masa de carbono en el combustible, equivalente al carbón quemado en la combustión (sin tomar en cuenta el carbón en las cenizas) [%]

S_c : Porcentaje en masa de azufre en el combustible [%]

N_{2c} : Porcentaje en masa de nitrógeno en el combustible [%]

El exceso de aire

$$EA = 100 \cdot \frac{O_2 \cdot (\bar{n}_{ps} + 0,7905 \cdot \bar{n}_{a/c})}{\bar{n}_{a/c} \cdot (20,95 - O_2)}, \%$$

Donde:

\bar{n}_{ps} : Las moles de productos secos de la combustión de combustible [kmol / kg combustible]

$\bar{n}_{a/c}$: Moles de aire teórico por kg de combustible [kmol aire / kg combustible]

O_2 : Concentración de oxígeno en el gas seco de la combustión [%vol]

Moles de gas seco de la combustión

$$\bar{n}_{gs} = \bar{n}_{ps} + \bar{n}_{a/c} \cdot \left(0,7905 + \frac{EA}{100} \right), kmol/kg$$

Donde:

\bar{n}_{ps} : Las moles de productos secos de la combustión de combustible [kmol / kg combustible]

$\bar{n}_{a/c}$: Mol de aire teórico por kg de combustible [kmol aire / kg combustible]

EA : Exceso de aire [%]

Nitrógeno del combustible en los gases de combustión

$$N_{2C,g} = \frac{N_{2C}}{28,0134 \bar{n}_{gs}}, \%$$

Donde:

N_{2C} : Porcentaje en masa de nitrógeno en el combustible [%]

\bar{n}_{gs} : Moles de gas seco de la combustión [kmol / kg combustible]

Nitrógeno atmosférico en los gases de combustión

$$N_{2a,g} = 100 - O_2 - CO_2 - SO_2 - N_{2C,g}, \%$$

Donde:

O_2 : Concentración de oxígeno en el gas seco de la combustión [% , vol]

CO_2 : Concentración de CO2 en el gas seco de la combustión [% , vol]

SO_2 : Concentración de SO2 en el gas seco de la combustión [% , vol]

$N_{2C,g}$: Nitrógeno del combustible en el gas de combustión [% , vol]

E. PRODUCTOS DEL GAS DE COMBUSTIÓN

Humedad del agua (H2O) en el combustible

$$m_{w,H2Oc} = \left(\frac{H20_c}{100 \cdot PCS} \right), kg/kJ$$

Donde:

$H20_c$: Porcentaje en masa de agua en el combustible [%]

PCS : Poder calorífico superior del diesel, ver 3.1.1.2, literal B [kJ/kg]

Humedad de la combustión de H2 en el combustible

$$m_{w,H2c} = \left(\frac{8,937 \cdot H_{2c}}{100 \cdot PCS} \right), kg/kJ$$

Donde:

H_{2c} : Porcentaje en masa de hidrógeno en el combustible [%]

PCS : Poder calorífico superior del diesel, ver 3.1.1.2, literal B [kJ/kg]

Peso molecular del gas seco

$$M_{gs} = 0,31999 \cdot O_2 + 0,4401 \cdot CO_2 + 0,64063 \cdot SO_2 + 0,28013 \cdot N_{2c,g} + 0,28158 \cdot N_{2a,g}, kg/kmol$$

Donde:

O_2 : Concentración de oxígeno en el gas seco de la combustión [% , vol]

CO_2 : Concentración de CO2 en el gas seco de la combustión [% , vol]

SO_2 : Concentración de SO2 en el gas seco de la combustión [% , vol]

$N_{2c,g}$: Nitrógeno del combustible en el gas de combustión [% , vol]

$N_{2a,g}$: Nitrógeno atmosférico en el gas de combustión [% , vol]

F. PÉRDIDAS

El cálculo de las pérdidas implica:

- El cálculo de pérdidas en base al porcentaje de energía del combustible quemado, QpL [%].
- El cálculo de pérdidas en base a la unidad de tiempo, QrL [W].

Las pérdidas consideradas en la norma se enlistan a continuación y se indica las que se tomaron en cuenta en este estudio. Los acrónimos utilizados por el ASME PTC 4-2008, son construidos por símbolos constituidos en la siguiente secuencia:

(1)Propiedad / (2)Función / (3)Equipamiento, corriente, eficiencia / (4)Ubicación, componente, constituyente / (5)Corrección

La simbología utilizada en la norma, es:

Tabla 15

Pérdidas en la caldera - ASME PTC4-2008

Calculado	Sección ASME PTC4	Acrónimo ASME	Abreviatura Alternativa	Item	Observación
SI	5-14.1	QpL DFg	Lgs	Pérdida en gases secos	
-	5-14.2	-	-	Pérdidas por agua del combustible	Ver 5-14.2.1 a 5-14.2.3
SI	5-14.2.1	QpL H2F	LH2	Pérdida por el agua formada en la combustión de H2 del combustible	
SI	5-14.2.2	QpL WF	LH2O	Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos	
NO	5-14.2.3	QpL WvF	-	Pérdida por agua en combustibles gaseosos	
NO	5-14.3	QpL WA	-	Pérdida por humedad en el aire	
-	5-14.4	QpL SmU b	-	Sumatoria de pérdidas por combustible no quemado	Ver 5-14.4.1 a 5-14.4.5
NO	5-14.4.1	QpL UbC	-	Pérdida por carbón no quemado en el residuo	
NO	5-14.4.2	QpL H Rs	-	Pérdida por hidrógeno no quemado en el residuo	

CONTINÚA →

SI	5-14.4.3	QpLCO	LCO	Pérdida por CO en los gases de combustión	
NO	5-14.4.4	QpLPr	-	Pérdida por rechazo en el pulverizador	
NO	5-14.4.5	QpLUbHc	-	Pérdida por hidrocarburos no quemados en los gases de combustión	
NO	5-14.5	QpLRs	-	Pérdida por calor sensible del residuo	
NO	5-14.6	QpLAq	-	Pérdida en el equipo de control del aire caliente	
NO	5-14.7	QpLALg	-	Pérdida por infiltración de aire	
SI	5-14.8	QpLNOx	LNOx	Pérdida por formación de NOx	
SI	5-14.9	QrLSrc	Lr, Lc	Pérdida por radiación y convección de la superficie	
NO	5-14.10	QrLWAd	-	Pérdida por humedad adicional	
NO	5-14.11	QrLCIh	-	Pérdida calcinación y deshidratación del sorbente	
NO	5-14.12	QrLWSb	-	Pérdida por agua en el sorbente	
NO	5-14.13	QrLAp	-	Pérdida por cenizas húmedas	Ver 5-14.13.1 5-14.13.2
NO	5-14.14	QrLRy	-	Pérdida de flujos reciclados	Ver 5-14.14.1 5-14.14.2
NO	5-14.15	QrLCw	-	Pérdida en el agua de refrigeración	
NO	5-14.16	QrLAc	-	Pérdida en la bobina precalentadora de aire instalada internamente	

F.1. Pérdida en gases secos (L_{gs})

Masa de gas seco de combustión

$$m_{gs} = \frac{\bar{n}_{gs} \cdot M_{gs}}{PCS} \quad [kg/kJ]$$

Ecuación 5. Masa de gas seco de combustión

Donde:

\bar{n}_{gs} : Moles de gas seco de la combustión [kmol / kg combustible]

M_{gs} : Peso molecular del gas seco de combustión [kg / kmol]

PCS : Poder calorífico superior del diesel, ver 3.1.1.2, literal B [kJ/kg]

Las pérdidas se calculan por:

$$L_{gs} = 100 \cdot m_{gs} \cdot h_{gs}, \quad [\%]$$

Ecuación 6. Pérdida en gases secos

Donde:

m_{gs} : Masa de gas seco que sale de la caldera, basado en el exceso de aire [kg/J]

h_{gs} : Entalpía del gas seco a la temperatura de salida [J/kg]

F.2. Pérdida por el agua formada en la combustión de H2 del combustible (L_{H2})

$$L_{H2} = 100 \cdot m_{w,H2c} \cdot (h_{St} - h_{w,ref}) \quad [\%]$$

Ecuación 7. Pérdida por el agua formada en la combustión de H2 del combustible

Donde:

$m_{w,H2c}$: Agua producida de la combustión de hidrógeno en el combustible en masa por energía de entrada en base al PCS [kg/J]

h_{St} : Entalpía del vapor (steam) a 1psia a la temperatura corregida de salida del gas de combustión (TFgLvCr) [J/kg]

$h_{w,ref}$: Entalpía del agua a la temperatura de referencia (TRe) [J/kg]

F.3. Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos (L_{H2O})

$$L_{H2O} = 100 \cdot m_{w,H2Oc} \cdot (h_{St} - h_{w,ref}) \quad [\%]$$

Ecuación 8. Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos

Donde:

$m_{w,H2O_c}$: Agua en el combustible [kg/J]

h_{st} : Entalpía del vapor (steam) a 1psia a la temperatura corregida de salida del gas de combustión (TFgLvCr) [J/kg]

$h_{w,ref}$: Entalpía del agua a la temperatura de referencia (TRe) [J/kg]

F.4. Pérdida por CO en los gases de combustión (L_{CO})

$$L_{CO} = CO \cdot n_{gs,ea} \cdot M_{CO} \cdot \frac{PCS_{CO}}{PCS} \quad [\%]$$

Ecuación 9. Pérdida por CO en los gases de combustión

Donde:

CO : Cantidad de CO medido en base seca [% en volumen]

\bar{n}_{gs} : Moles de gas seco con exceso de aire [moles/kg]

M_{CO} : Peso molecular del CO, 28.01 [kg/mol]

PCS_{CO} : Poder calorífico superior del CO, 10111 [kJ/kg]

PCS : Poder calorífico superior del combustible [kJ/kg]

F.5. Pérdida por la formación de NOx (L_{NOx})

$$L_{NOx} = NOx \cdot n_{gs,ea} \cdot \frac{Q_{NOx}}{PCS} \quad [\%]$$

Ecuación 10. Pérdida por la formación de NOx

Donde:

NOx : Cantidad de NOx medido en base seca [% en volumen]

\bar{n}_{gs} : Moles de gas seco con exceso de aire [moles/kg]

Q_{NOx} : Calor de formación del NO, 38630 [Btu/lb mol] o el calor de formación del NO₂, 35630 [Btu/lb mol]

PCS : Poder calorífico superior del combustible [kJ/kg]

F.6. Pérdida por radiación y convección de la superficie (L_q)

$$L_{q,W} = C1 \cdot \sum_i (h_{con,i} + h_{rad,i}) \cdot A_i \cdot (T_{s,i} - T_{a,i}), W$$

Ecuación 11. Pérdida por radiación y convección de la superficie en el caldero, vatios

Donde:

$C1$: 1 Btu/h

$h_{con,i}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección para un área i [Btu/ft²·h·°F]

$h_{rad,i}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación para un área i [Btu/ft²·h·°F]

A_i : Área i, de la superficie plana proyectada de la función / recubrimiento sobre el aislamiento [m²]

$T_{s,i}$: Temperatura promedio de la superficie del área i [°F]

$T_{a,i}$: Temperatura ambiente promedio en la ubicación i, entre 0.6 y 1.5 m de la superficie [°F]

Los coeficientes de transferencia de calor para cada ubicación i, se calculan según la norma por:

$$h_{con,i} = 0.2 \cdot (T_{s,i} - T_{a,i})^{0.33}$$

$$h_{rad,i} = 0.847 + (2.367E - 3 \cdot \Delta T_i) + (2.94E - 6 \cdot \Delta T_i^2) + (1.37E - 9 \cdot \Delta T_i^3)$$

Donde:

$\Delta T_i = T_{s,i} - T_{a,i}$: Diferencia de temperatura

Para que la potencia quede expresada en términos de la fracción de energía del combustible, se usa la potencia del combustible que es la potencia nominal del caldero, $Pot_{caldero} = 200 \text{ bhp}$ por una eficiencia supuesta. El cálculo es iterativo hasta que la eficiencia total del caldero coincida con la supuesta y se obtiene las pérdidas por radiación y convección en porcentaje

$$L_q = \frac{L_{q,W}}{Pot_{caldero} \cdot n_{caldero}}, \%$$

Ecuación 12. Pérdida por radiación y convección de la superficie en el caldero, porcentaje

3.1.1.3. PÉRDIDAS EN PURGAS (E_{purgas})

El flujo de agua en las purgas de la caldera, se relacionan con: la presión del caldero, el diámetro de la tubería de purga y la longitud equivalente de la tubería entre el caldero y la descarga.

- Se estima la longitud equivalente de tubería de accesorios de acuerdo al diámetro nominal de la tubería, usando la tabla:

Tabla 16

Longitud equivalente de accesorios para la tubería de purga, en metros [m]

Blowdown line size	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm
Long radius bend	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Manifold inlet	0.6	1.0	1.4	1.7	2.1
Globe valve	5.9	9.6	12.2	13.9	17.8
Check valve	2.6	3.6	4.2	4.9	6.2
Blowdown valve	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Fuente: (Spirax Sarco, 2007)

- Si la longitud total equivalente de la tubería (tubería + accesorios) es menor a 7,5m; se multiplica la presión del caldero por 1,15. El flujo másico en la purga se obtiene de la figura:

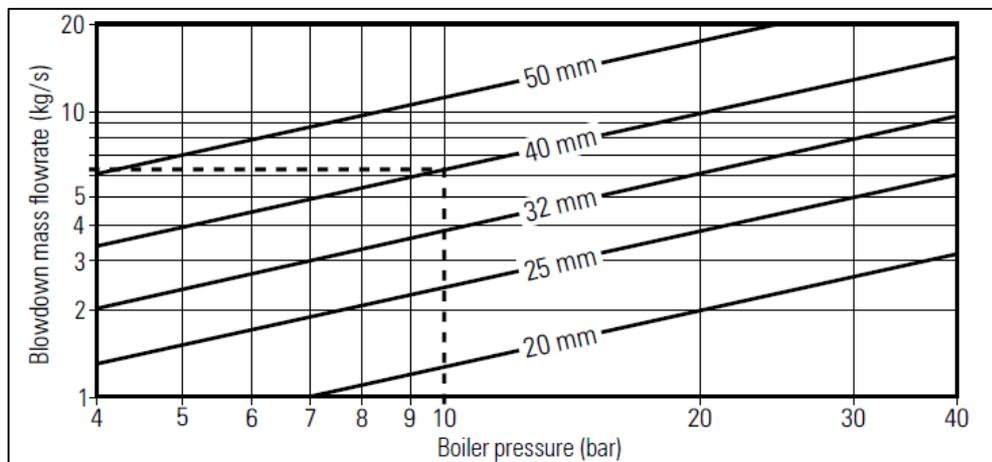


Figura 20. Flujo másico aproximado en la purga, basado en una longitud total equivalente de 8m

Fuente: (Spirax Sarco, 2007)

- La energía consumida en la purga está dada por

$$E_{purgas} = \sum_i (\dot{m}_{purga} \cdot (h_{agua,sat} - h_{red}) \cdot t), kJ$$

Ecuación 13. Energía consumida en purgas

Donde:

\dot{m}_{purga} : Flujo de masa del agua purgada, ver Figura 20 [kg/s]

$h_{agua,sat}$: Entalpía del agua saturada a la presión del caldero [kJ/kg]

h_{red} : Entalpía del agua de la red de agua potable [kJ/kg]

t : Tiempo de purga de la caldera, durante el intervalo de tiempo Δt [h]

3.1.1.4. ENERGÍA DEL VAPOR (E_{vapor})

$$E_{vapor} = E_{combustible} - Q_{perdidas,caldera} - E_{purgas}, kJ$$

Ecuación 14. Energía del vapor

3.1.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

El sistema de vapor comprende los elementos del sistema térmico que se hallan funcionalmente luego del caldero. Específicamente equipos y elementos de: transporte, distribución y consumo de vapor, además del retorno de condensado.

3.1.2.1. CALOR CONSUMIDO EN LAVANDERÍA ($Q_{lavanderia}$), COCINA (Q_{cocina}) Y ESTERILIZACIÓN ($Q_{esterilizacion}$)

$$Q = \sum_i (\dot{Q}_{equipo,i} \cdot t_i), kJ$$

Ecuación 15. Calor en equipos de vapor

Donde:

$\dot{Q}_{equipo,i}$: Potencia del equipo, i [kW]

t_i : Tiempo de uso del equipo i, durante el intervalo de tiempo Δt [s]

3.1.2.2. PÉRDIDAS DE CALOR

Las pérdidas de calor están dadas por la resta de consumos y fugas calculadas de la energía de vapor que entra al sistema de distribución de vapor

$$Q_{pérdidas,calor} = E_{vapor} - (Q_{lavandería} + Q_{cocina} + Q_{esterilización} + Q_{ACS} + Q_{piscina} + E_{fugas} + E_{condensado}), J$$

Ecuación 16. Pérdidas de calor

A. Pérdidas de calor indeterminadas

Es importante notar que:

- Existen pérdidas que no se cuantifican por falta de información o porque resulta innecesario su cálculo
- Otras como las pérdidas de calor en el Interacumulador de calor del ACS y de la red hidráulica de ACS se contabilizan en su respectivo subsistema

Las pérdidas indeterminadas se pueden calcular usando la ecuación:

$$Q_{indeterminadas} = Q_{pérdidas,calor} - (Q_{tub,vapor} + Q_{cabezal} + Q_{tanque,condensado} + Q_{otras,perdidas}) , J$$

Ecuación 17. Pérdidas de calor indeterminadas

Donde:

$Q_{tub,vapor}$: Pérdidas de calor en la red de tuberías de vapor y retorno de condensado [J]

$Q_{cabezal}$: Pérdida de calor en el cabezal de distribución de vapor [J]

$Q_{tanque,condensado}$: Pérdida de calor en la superficie externa del tanque de condensado [J]

$Q_{otras,perdidas}$: Otras pérdidas de calor cuantificadas [J]

El cálculo de algunas pérdidas de importancia de elementos del sistema de distribución de vapor y ACS, son:

B. Calor perdido en el depósito de almacenamiento de condensado, cabezal de distribución de vapor e intercambiador de calor de ACS

Estos elementos se modelan como un tanque cilíndrico horizontal y se evalúan la transferencia de calor en la superficie cilíndrica y la superficie plana. El cálculo de calor perdido en el intercambiador de ACS se lo utiliza en el calor usado por la Red de ACS

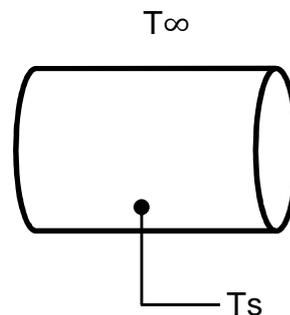


Figura 21. Tanque cilíndrico horizontal

Todos estos equipos se hallan al interior de la casa de máquinas por lo que se utilizan correlaciones empíricas para flujo externo de convección libre (Incropera & DeWitt, 1999):

- La temperatura de la película es:

$$T_f = \frac{T_a + T_s}{2}, K$$

Ecuación 18. Temperatura de película

Donde:

T_a : Temperatura del aire [K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

- El número de Rayleigh se calcula en base de las propiedades de la temperatura de película T_f :

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_f) \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha}$$

Ecuación 19. Número de Rayleigh

Donde:

g : Aceleración gravitacional

β : Coeficiente de expansión térmica volumétrica a la temperatura T_f [1/K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

T_α : Temperatura del flujo exterior [K]

D : Diámetro del cilindro [m]

ν : Viscosidad cinemática a la temperatura T_f [m²/s]

α : Difusividad térmica de expansión térmica a la temperatura T_f [m²/s]

- Para la superficie cilíndrica según (Incropera & DeWitt, 1999), el número de Nusselt es:

$$Nu_D = \left(0,60 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \quad (Ra \leq 10^{12})$$

Ecuación 20. Nusselt para superficie cilíndrica horizontal

Donde:

Ra_D : Número de Rayleigh

Pr : Número de Prandtl a la temperatura T_f

- Para la superficie plana (placa vertical), según (ASHRAE, 2009), el número de Nusselt es:

$$Nu_D = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,437}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \quad (10^{-1} < Ra < 10^{12})$$

Ecuación 21. Nusselt para placa plana vertical

Donde:

Ra_D : Número de Rayleigh

Pr : Número de Prandtl a la temperatura T_f

- El número de Nusselt se relaciona por:

$$Nu_D = \frac{h_{conv} \cdot D}{k}$$

Ecuación 22. Nusselt - convección

Donde:

h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² K]

D : Diámetro del cilindro [m]

k : Conductividad térmica a la temperatura T_f [W/m K]

De aquí se halla el coeficiente de transferencia de calor por convección para la superficie cilíndrica y para la superficie plana.

- Se calcula el calor cedido por convección usando la ley de enfriamiento de Newton:

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot A_s \cdot (T_s - T_\alpha), W$$

Ecuación 23. Ley de enfriamiento de Newton

Donde:

h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² K]

A_s : Área superficial [m²]

T_a : Temperatura del flujo exterior [K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

- Se calcula el flujo de calor cedido por radiación usando la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4), W$$

Ecuación 24. Ley de Stefan-Boltzmann

Donde:

ε : Emisividad de la superficie

A_s : Área superficial [m²]

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m²K⁴]

T_a : Temperatura del aire [K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

- El flujo de calor perdido en el depósito está dado por la suma calor perdido por convección y radiación

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{conv,i} + \dot{Q}_{rad,i}, W$$

Donde:

$\dot{Q}_{conv,i}$: Flujo de calor por convección perdido en el depósito i, [W]

$\dot{Q}_{rad,i}$: Flujo de calor por radiación perdido en el depósito i, [W]

- El calor perdido en el depósito es dependiente del flujo de calor y el tiempo

$$Q_i = \dot{Q}_i \cdot t_i, J$$

Donde:

\dot{Q}_i : Flujo de calor perdido en el depósito i, [W]

t_i : Tiempo de uso del equipo i, durante el intervalo de tiempo Δt [s]

C. Calor perdido en tuberías con la temperatura de la superficie exterior conocida

Las tuberías se modelan como un tanque cilíndrico horizontal y se evalúan la transferencia de calor en la superficie cilíndrica. Se encuentran instaladas en el interior de la edificación por lo que se utilizan correlaciones empíricas para flujo externo de convección libre (Incropera & DeWitt, 1999)

La temperatura exterior de la tubería desnuda o del aislamiento, deben conocerse por medición directa. De encontrarse la tubería sin aislamiento se puede suponer la temperatura del fluido como la temperatura de superficie de la tubería.

Según (Spirax Sarco, 2007), la tolerancia para calcular la longitud total equivalente de tubería por la presencia de accesorios en las tuberías es:

- Si la longitud de la tubería es menor a 50m, se adiciona una tolerancia del 5% por accesorios

- Si la longitud de la tubería es mayor a 100m y tiene un recorrido bastante recto con pocos accesorios, se puede incrementar una tolerancia del 10% por accesorios.
- Una tubería de longitud mayor a 100m y con algunos accesorios, se puede incrementar una tolerancia del 20%.

El cálculo es:

- La temperatura de la película está dada por la Ecuación 18
- El número de Rayleigh está dado por la Ecuación 19
- Para la superficie cilíndrica, el número de Nusselt está dado por la Ecuación 20
- El número de Nusselt se relaciona por la Ecuación 22, donde se halla el coeficiente de transferencia de calor por convección para la superficie cilíndrica
- Se calcula el flujo de calor cedido por convección por unidad de longitud, usando la ley de enfriamiento de Newton:

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} \cdot \pi \cdot D \cdot (T_s - T_\alpha), W/m$$

Ecuación 25. Ley de enfriamiento de Newton - tubería

Donde:

h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² K]

D : Diámetro de la tubería o aislante donde se midió la temperatura T_s [m]

T_α : Temperatura del flujo exterior [K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

- Se calcula el flujo de calor cedido por radiación usando la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \pi \cdot D \cdot \sigma \cdot (Ts^4 - Ta^4), W/m$$

Ecuación 26. Ley de Stefan-Boltzmann - tubería

Donde:

ε : Emisividad de la superficie

D : Diámetro de la tubería o aislante donde se midió la temperatura T_s [m]

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$

Ta : Temperatura del aire [K]

Ts : Temperatura de la superficie [K]

- El flujo de calor perdido en la tubería está dado por la suma del calor perdido por convección y radiación

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{conv,i} + \dot{Q}_{rad,i}, W/m$$

Donde:

$\dot{Q}_{conv,i}$: Flujo de calor por convección perdido en el depósito i , [W/m]

$\dot{Q}_{rad,i}$: Flujo de calor por radiación perdido en el depósito i , [W/m]

- El calor perdido en la tubería es dependiente del flujo de calor, el tiempo y la longitud de esta.

$$Q_i = \dot{Q}_i \cdot t_i \cdot L_i, J$$

Ecuación 27. El calor perdido en la tubería

Donde:

\dot{Q}_i : Flujo de calor perdido en el depósito i, [W]

t_i : Tiempo de uso del equipo i, durante el intervalo de tiempo Δt [s]

L_i : Longitud de la tubería i, [m]

D. Calor perdido en tuberías y tanques con aislamiento, y temperatura de la superficie exterior del aislamiento desconocida

Las tuberías se modelan como un tanque cilíndrico horizontal y se evalúan la transferencia de calor en la superficie cilíndrica. Se encuentran instaladas en el interior de la edificación por lo que se utilizan correlaciones empíricas para flujo externo de convección libre (Incropera & DeWitt, 1999)

La temperatura de la tubería o tanque ($T_{s,1}$) debe conocerse por medición directa o se puede suponer la temperatura del fluido como la temperatura de superficie de la tubería o tanque.

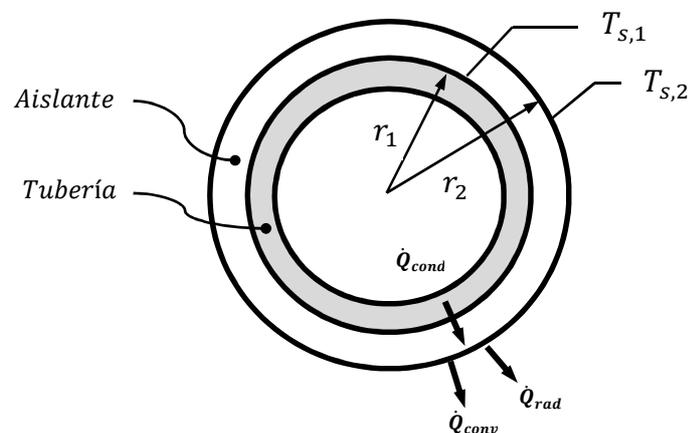


Figura 22. Tubería con aislamiento

La transferencia de calor convección libre y la radiación depende de la temperatura exterior del aislante $T_{s,2}$. Realizando un balance de energía en la superficie exterior:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} : Flujo de calor por conducción de la tubería al aislante [W]

\dot{Q}_{conv} : Flujo de calor por convección del aislante al ambiente [W]

\dot{Q}_{rad} : Flujo de calor por radiación del aislante al ambiente [W]

Entonces,

$$\frac{2\pi \cdot k_{ais} \cdot (T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} = h_{conv} \cdot (2\pi \cdot r_2)(T_{s,2} - T\alpha) + \varepsilon \cdot 2\pi \cdot r_2 \cdot \sigma \cdot (T_{s,2}^4 - Ta^4)$$

Ecuación 28. Perdida de calor en cilindros aislados y temperatura exterior desconocida

Donde:

k_{ais} : Conductividad térmica del aislante [W/m K]

$T_{s,1}$: Temperatura de la superficie exterior de la tubería [K]

$T_{s,2}$: Temperatura de la superficie exterior del aislante [K]

r_1 : Radio de la tubería [m]

r_2 : Radio del aislante [m]

h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² K]

$T\alpha$: Temperatura del flujo exterior [K]

ε : Emisividad de la superficie

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m²K⁴]

Ta : Temperatura del aire [K]

El cálculo sigue el siguiente proceso iterativo:

- Se supone (en primera iteración) la temperatura del aislante $T_{s,2}$ y la temperatura de la película está dada por la Ecuación 18, donde $T_s = T_{s,2}$
- El número de Rayleigh está dado por la Ecuación 19
- Para la superficie cilíndrica, el número de Nusselt está dado por la Ecuación 20.
- El número de Nusselt se relaciona por la Ecuación 22, donde se halla el coeficiente de transferencia de calor por convección para la superficie cilíndrica
- Se calcula la temperatura del aislante $T_{s,2}$, a partir de la Ecuación 28
- Si $T_{s,2}$ es igual NO es igual a la temperatura supuesta en el primer paso, se reemplaza nuevamente el $T_{s,2}$ calculado por T_s y se repite el cálculo hasta que haya una convergencia del valor de $T_{s,2}$:
- Cuando $T_{s,2}$ haya convergido, se calcula el flujo de calor cedido por convección por unidad de longitud, usando la ley de enfriamiento de Newton, usando la Ecuación 25
- Se calcula el flujo de calor cedido por radiación usando la ley de Stefan-Boltzmann, usando la Ecuación 26
- El flujo de calor perdido en la tubería o cilindro del tanque, está dado por la suma del calor perdido por convección y radiación.

- El calor perdido en la tubería o cilindro del tanque, es dependiente del flujo de calor, el tiempo y la longitud de esta, Ecuación 27
- *Para el caso de un tanque, el cálculo de pérdidas en la pared plana circular, se lo realiza suponiendo la temperatura del aislante hallado para la pared cilíndrica como la temperatura de la cara plana y siguiendo el procedimiento para un tanque con temperatura conocida, literal B, a partir de la Ecuación 21.

E. Calor perdido en el intercambiador de calor de la Piscina

El cálculo de calor perdido en el intercambiador de calor de la piscina, se lo utiliza en el cálculo los cálculos de la piscina. Este elemento se modela como un tanque cilíndrico vertical y se evalúan la transferencia de calor en la superficie cilíndrica y la superficie plana.

- Según (ASHRAE, 2009), un cilindro vertical se puede representar como una placa plana cuando:

$$D \geq \frac{35 \cdot L}{Gr_L^{1/4}}$$

Donde:

D : Diámetro del cilindro [m]

L : Longitud del cilindro [m]

Gr_L : Número de Grashof, a la temperatura Tf

- El número de Grashof está dado por:

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\alpha) \cdot L^3}{\nu^2}$$

Donde:

g : Aceleración gravitacional

β : Coeficiente de expansión térmica volumétrica a la temperatura T_f [1/K]

T_s : Temperatura de la superficie [K]

T_α : Temperatura del flujo exterior [K]

L^3 : Longitud del cilindro [m³]

ν : Viscosidad cinemática a la temperatura T_f [m²/s]

- Para la superficie **cilíndrica**, el número de Rayleigh con la longitud característica L , está dado por la Ecuación 19
- Para la superficie **cilíndrica** (considerada como plana vertical), el número de Nusselt es, ver Ecuación 21
- Según (ASHRAE, 2009), para la superficie plana horizontal **superior e inferior** del cilindro, la longitud característica es $L=A/P$, donde A es el área y P el perímetro. Se calcula el número de Rayleigh.
- Para la superficie plana horizontal **superior** del cilindro, el número de Nusselt es

$$Nu_D = 0.27 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$$

Ecuación 29. Nusselt para superficie plana horizontal superior

- Para la superficie plana horizontal **inferior** del cilindro, el número de Nusselt es

$$Nu_D = 0.59 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (200 < Ra_L < 10^4)$$

$$Nu_D = 0.54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (2.2 \cdot 10^4 < Ra_L < 8 \cdot 10^6)$$

$$Nu_D = 0.15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}} \quad (8 \cdot 10^6 < Ra_L < 1.5 \cdot 10^9)$$

Ecuación 30. Nusselt para superficie plana horizontal inferior

- El número de Nusselt se relaciona por la Ecuación 22, donde se halla el coeficiente de transferencia de calor por convección para la superficie plana y cilíndrica
- Se calcula el calor cedido por convección usando la ley de enfriamiento de Newton, ver Ecuación 22
- Se calcula el flujo de calor cedido por radiación usando la ley de Stefan-Boltzmann, ver Ecuación 23
- El flujo de calor perdido en el depósito está dado por la suma calor perdido por convección y radiación
- El calor perdido en el depósito es dependiente del flujo de calor y el tiempo

3.1.2.3. PÉRDIDAS EN FUGAS DE VAPOR (E_{fugas})

Las pérdidas por fugas en tuberías, válvulas o accesorios, se estiman mediante la aproximación del diámetro equivalente del agujero, y conociendo la presión del vapor. Según (Spirax Sarco, 2007) el vapor fugado es:

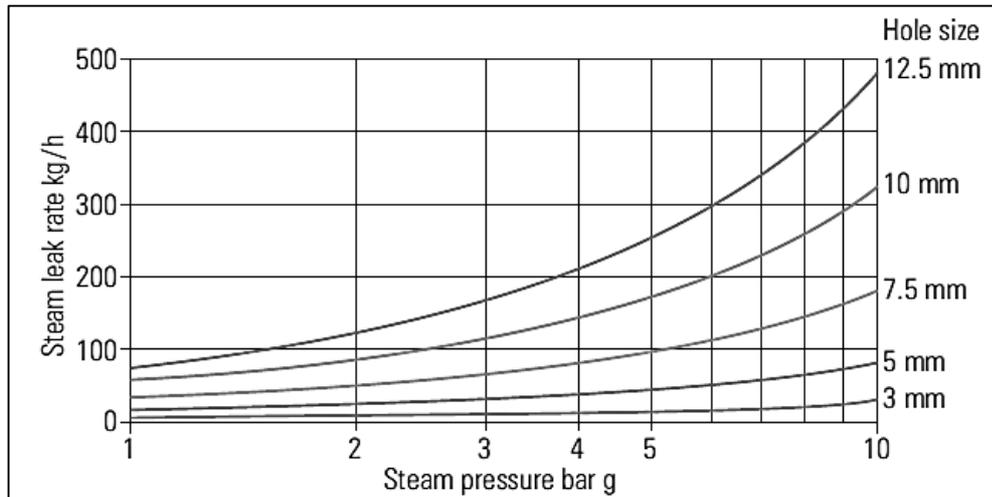


Figura 23. Pérdida de vapor a través de agujeros

Fuente: (Spirax Sarco, 2007)

El cálculo de las pérdidas es:

$$E_{fugas} = \sum_i (\dot{m}_{vapor,i} \cdot (h_{vapor,i} - h_{red}) \cdot t_i), kJ$$

Ecuación 31. Pérdidas en fugas de vapor

Donde:

$\dot{m}_{vapor,i}$: Flujo de masa del vapor fugado, para el agujero i, ver Figura 23 [kg/h]

$h_{vapor,i}$: Entalpía del vapor fugado por el agujero i [kJ/kg]

h_{red} : Entalpía del agua de la red de agua potable [kJ/kg]

t_i : Tiempo de operación del elemento i, durante el intervalo de tiempo Δt [h]

3.1.2.4. CALOR CONSUMIDO EN PISCINA ($Q_{piscina}$)

La energía usada en la Piscina se evalúa mediante un balance de energías, donde el calor aportado por el vapor a través del intercambiador se

transfiere al agua proveniente de la red, que recircula por la piscina por un circuito hidráulico . Para un tiempo grande se tiene

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

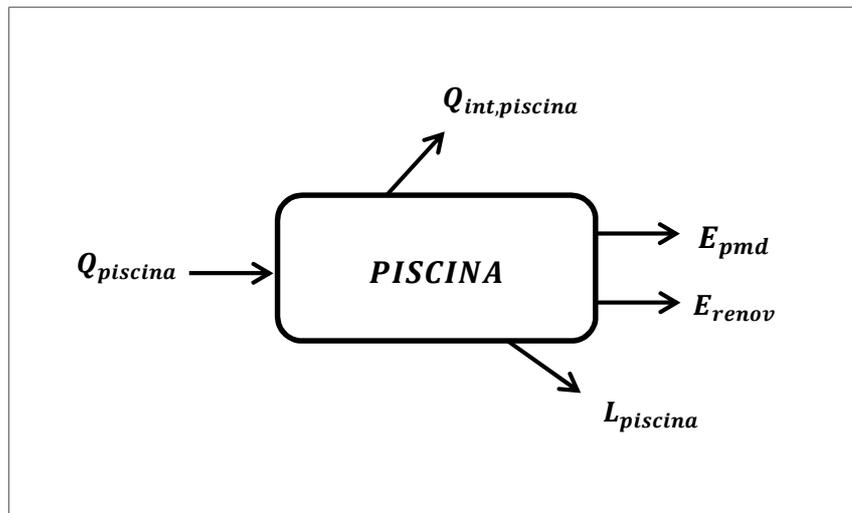


Figura 24. Balance de energía de la Piscina

$$Q_{piscina} = Q_{int,piscina} + L_{piscina} + E_{pmd} + E_{renov}$$

Ecuación 32. Calor consumido en piscina

Donde:

$Q_{int,piscina}$: Calor perdido en el Intercambiador de calor de la piscina [kJ]

$L_{piscina}$: Pérdidas en la piscina durante el funcionamiento del intercambiador de calor [kJ]

E_{pmd} : Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina [kJ]

E_{renov} : Energía perdida por la renovación del agua de la piscina [kJ]

A. Calor perdido en el Intercambiador de calor de la piscina

Se calculan las pérdidas de calor en la superficie del intercambiador de calor de la piscina, con el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2, literal D.

B. Pérdidas en la piscina

Los cálculos se fundamentan en el procedimiento seguido por (González, 2014)

$$L_{piscina} = Q_{evap} + Q_{conv} + Q_{rad} + Q_{pared}, kJ$$

Ecuación 33. Pérdidas en el vaso de la piscina

Donde:

Q_{evap} : Pérdida por evaporación del agua de la piscina [kJ]

Q_{conv} : Pérdida por convección entre la superficie del agua de la piscina y el aire [kJ]

Q_{rad} : Pérdida por radiación entre la superficie del agua de la piscina y el cerramiento [kJ]

Q_{pared} : Pérdida por conducción entre el agua de la piscina y las paredes de la piscina [kJ]

Pérdida por evaporación del agua de la piscina

Según (ASHRAE, 2011) el cálculo de la evaporación de agua en una piscina donde la velocidad del aire está entre 0.05 y 0.15 m/s, es:

$$\dot{m}_{evap} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot (P_v - P_{a,ro}) \cdot F_a, kg/s$$

Donde:

A : Área de la superficie libre de la piscina [m²]

P_v : Presión de saturación de vapor a la temperatura superficial del agua de la piscina [kPa]

$P_{a,ro}$: Presión de saturación a la temperatura del punto de rocío del aire ambiente [kPa]

F_a : Factor de actividad

Type of Pool	Typical Activity Factor (F_a)
Baseline (pool unoccupied)	0.5
Residential pool	0.5
Condominium	0.65
Therapy	0.65
Hotel	0.8
Public, schools	1.0
Whirlpools, spas	1.0
Wavepools, water slides	1.5 (minimum)

Figura 25. Factor de actividad

Fuente: (ASHRAE, 2011)

La energía perdida es:

$$Q_{evap} = \dot{m}_{evap} \cdot h_{fg} \cdot t, kJ$$

Donde:

\dot{m}_{evap} : Evaporación del agua de la piscina [kg/s]

h_{fg} : Entalpía de vaporización del agua a temperatura ambiente [kJ/kg]

t : Tiempo de funcionamiento a temperatura de uso [s]

Pérdida por convección entre la superficie del agua de la piscina y el aire

$$Q_{conv} = 6,6246 \cdot A \cdot (T_{H2O} - T_a)^{4/3} \cdot t, J$$

Donde:

A : Área de la superficie libre de la piscina [m²]

T_{H2O} : Temperatura del agua de la piscina [K]

T_a : Temperatura del aire [K]

t : Tiempo de funcionamiento a temperatura de uso [s]

Pérdida por radiación entre la superficie del agua de la piscina y el edificio

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T_{H2O}^4 - T_a^4) \cdot t, J$$

Donde:

ε : Emisividad del agua (0,95)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m²K⁴]

A : Área de la superficie libre de la piscina [m²]

T_{H2O} : Temperatura del agua de la piscina [K]

T_a : Temperatura del aire [K]

t : Tiempo de funcionamiento a temperatura de uso [s]

Pérdida por conducción entre el agua de la piscina y las paredes de la piscina

$$Q_{pared} = k \cdot A_c \cdot (T_{H2O} - T_s) \cdot t, J$$

Donde:

k : Coeficiente de conducción del material de la pared [Wm²/K]

A_c : Área de la superficie de agua en contacto con las paredes de la piscina [m²]

T_{H2O} : Temperatura del agua de la piscina [K]

T_s : Temperatura del suelo fuera de la piscina [K]

t : Tiempo de funcionamiento a temperatura de uso [s]

C. Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina

Equivale al salto de temperatura que la piscina debe dar desde el inicio de la puesta en marcha de las bombas de recirculación hasta alcanzar la temperatura máxima. Es proporcional a la temperatura perdida en la piscina durante el tiempo que no recircula agua en el intercambiador

$$E_{pmd} = V \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{H2O,max} - T_{H2O,ini}) \cdot n, J$$

Donde:

V : Volumen de la piscina [m³]

ρ : Densidad del agua [kg/ m³]

Cp : Calor específico del agua a temperatura promedio [J/ kg K]

$T_{H2O,max}$: Temperatura máxima del agua de la piscina [K]

$T_{H2O,ini}$: Temperatura inicial del agua antes de la puesta en marcha de la piscina [K]

n : Número de días de funcionamiento durante el intervalo de tiempo Δt

D. Energía perdida por la renovación del agua de la piscina

La renovación del agua es el cambio completo del agua de la piscina.

$$E_{renov} = V \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{H2O,ini} - T_{red}) \cdot n_r, J$$

Donde:

V : Volumen de la piscina [m³]

ρ : Densidad del agua [kg/ m³]

Cp : Calor específico del agua a temperatura promedio [J/ kg K]

$T_{H2O,ini}$: Temperatura inicial del agua antes de la puesta en marcha de la piscina [K]

T_{red} : Temperatura del agua de la red de distribución [K]

n_r : Número de renovaciones del agua de la piscina durante el intervalo de tiempo Δt

3.1.2.5. CALOR CONSUMIDO EN LA RED DE ACS (Q_{ACS})

La producción de ACS se modela mediante un balance de energías, donde el calor aportado por el vapor a través del intercambiador se transfiere al agua proveniente de la red. El ACS, es almacenada en el intercambiador que genera pérdidas en su superficie; y el fluido recircula por la red de tuberías donde se generan pérdidas por transferencia de calor al ambiente. El sistema debe mantener la red de ACS a la temperatura deseada.

$$E_{entrada} - E_{salida} = 0$$

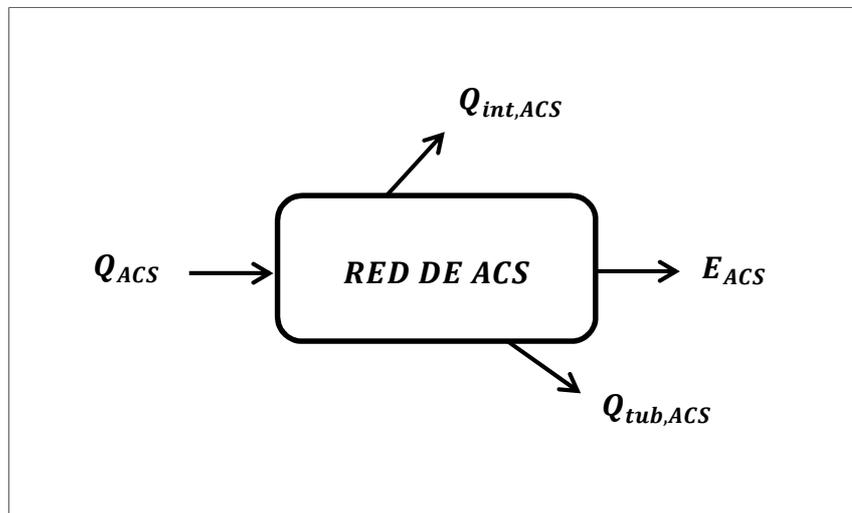


Figura 26. Balance de energía de la red de ACS

Reemplazando:

$$Q_{ACS} - (Q_{int,ACS} + Q_{tub,ACS}) - E_{ACS} = 0$$

El calor consumido en la red de ACS, es:

$$Q_{ACS} = Q_{int,ACS} + Q_{tub,ACS}$$

Ecuación 34. calor consumido en la red de ACS

Donde:

E_{ACS} : Energía consumida en el Intercambiador de calor de ACS [J]

$Q_{int,ACS}$: Calor perdido en el Intercambiador de calor de ACS [J]

$Q_{tub,ACS}$: Calor perdido en la red de tuberías de ACS [J]

A. Energía consumida en el Intercambiador de calor de ACS

La energía que se consume en el intercambiador de ACS, es el calor sensible del volumen de agua consumida, que tiene un incremento de temperatura desde la temperatura de la red de agua potable, hasta la temperatura de servicio.

$$E_{ACS} = \rho \cdot V_{ACS} \cdot Cp_{H2O} \cdot (T_{ACS} - T_{red}), J$$

Ecuación 35. Energía consumida en el Intercambiador de calor de ACS

Donde:

ρ : Densidad del agua, 1000 [kg/m³]

V_{ACS} : Volumen de ACS consumida, durante el intervalo de tiempo Δt [m³]

Cp_{H2O} : Calor específico promedio a presión constante de agua, 4,18 [kJ/kg K]

T_{ACS} : Temperatura del ACS [K]

T_{red} : Temperatura del agua de la red [K]

B. Calor perdido en el Intercambiador de calor de ACS

Se calculan las pérdidas de calor en la superficie del intercambiador de calor de ACS, con el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2, literal E.

C. Calor perdido en la red de tuberías de ACS

Se calculan las pérdidas de calor en la red de tuberías de ACS, con el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2, Literal C o D.

3.1.2.6. PÉRDIDAS DE CONDENSADO NO RECUPERADO ($E_{condensado}$)

La masa de condensado que se produce solamente durante el funcionamiento de un equipo, la masa de vapor saturado que pierde su calor latente de vaporización, equivalente a la energía térmica usada por dicho equipo

$$m_{condensado,i} = \sum_i \left(\frac{Q_{equipo,i}}{h_{fg@P_{sat,i}}} \right), kg$$

Donde:

$Q_{equipo,i}$: La energía consumida por el equipo i, durante el intervalo de tiempo Δt [kJ]

$h_{fg@P_{sat,i}}$: Entalpía de vaporización del vapor saturado, a la presión de funcionamiento del equipo i [kJ/kg]

Para calcular la pérdida de energía del condensado que no se recupera, es necesario evaluar la temperatura del agua de reposición de la red, hasta la temperatura en el tanque de condensado.

$$E_{condensado} = \sum_i (m_{condensado} \cdot Cp_{H2O} \cdot (T_{condensado} - T_{red})), J$$

Ecuación 36. Pérdidas de energía por condensado no recuperado

Donde:

$m_{condensado,i}$: Masa de condensado del equipo i, durante el intervalo de tiempo Δt [kg]

Cp_{H2O} : Calor específico promedio a presión constante de agua, 4,18 [kJ/kg K]

$T_{condensado}$: Temperatura del condensado en el tanque de condensado [K]

T_{red} : Temperatura del agua de reposición de la red [K]

3.1.3. OTROS CÁLCULOS

3.1.3.1. DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS DE VAPOR

Selección basada en caída de presión

Como regla general la caída de presión no debe exceder 0,1bar/50m de tubería (Spirax Sarco, 2007) y es el primer cálculo que se hace para luego comprobar la velocidad. Los resultados para la caída de presión o la selección de la tubería se obtienen del gráfico para dimensionamiento de tuberías de vapor por caída de presión, ver Anexo 4, o por la fórmula empírica indicada por (Spirax Sarco, 2007) y restringida a longitudes no mayores que 200m

$$\Delta P = \frac{L \cdot v_g \cdot \dot{m}^2}{0,08 \cdot D^5}, bar$$

Ecuación 37. Caída de presión en tuberías de vapor

Donde:

L : Longitud de la tubería [m]

v_g : Volumen específico del vapor saturado a la presión o temperatura de saturación dada [m³/kg]

\dot{m} : Flujo másico del vapor [kg/h]

D : Diámetro de la tubería [mm]

Selección basada en velocidad

Es común un dimensionamiento con velocidades menores a 25m/s. Según (Spirax Sarco, 2007) para tuberías con una longitud mayor a 50m es

necesario analizar en la tubería la caída de presión y la velocidad que debe puede restringirse hasta 15m/s para evitar caídas de presión importantes. La velocidad puede hallarse en el gráfico para dimensionamiento de tuberías de vapor por velocidad, ver Anexo 5, o puede ser calculado por:

$$u = \frac{\dot{m} \cdot v_g}{A}, m/s$$

Ecuación 38. Velocidad en tuberías de vapor

Donde:

\dot{m} : Flujo másico del vapor [kg/s]

v_g : Volumen específico del vapor saturado a la presión o temperatura de saturación dada [m³/kg]

A : Área de sección de la tubería [m²]

3.2. LÍNEA BASE DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL

La línea base corresponde al comportamiento del sistema térmico en el año 2013. Algunas características de funcionamiento son:

- La caldera funciona de lunes a viernes de 7am a 7pm (12 horas/día), fines de semana de 7am a 1pm (5 horas/día). Resulta en 70 horas/semana o 3652 horas/año
- La presión de funcionamiento del caldero está controlada entre 5 y 6 barg. La presión promedio de trabajo del caldero de 5,5 barg, a esta presión la entalpía del agua saturada, $h_{agua,sat} = 684,08 \text{ kJ/kg}$
- Para una temperatura del agua de red de 18 °C y una presión atmosférica de 0,78 bar(a), $h_{red} = 75,62 \text{ kJ/kg}$

- Temperatura del aire en la casa de máquinas de 25°C y humedad relativa del 60%
- Por el intercambiador de ACS circula agua caliente con el uso de una bomba centrífuga que funciona las 24 horas del día, durante el año completo, resulta en 8760 horas/año
- La temperatura del ACS es controlada en la ERP, seteada a un máximo de 70°C. El promedio es de 57 °C para la línea que sale del intercambiador hacia el hospital y de 52,8 °C para la línea de retorno. Con una temperatura promedio de 54,9 °C. La temperatura máxima es de 75 °C y la mínima que se da al arranque del caldero es de 35 °C.
- El consumo volumétrico de agua a partir de los datos de los medidores, M1 (207,62 m³/semana) a la entrada del circuito hidráulico general de la casa de máquinas y M2 (50,67 m³/semana) instalado en la entrada de agua de reposición del tanque de condensados; da como resultado un consumo anual de agua de 8183,8 m³ para el ACS y 2642,1 m³ para el tanque de condensado que corresponde al agua usada como vapor.
- La piscina funciona de lunes a viernes de 11h00 a las 17h00, a esta hora se apagan las bombas de recirculación del agua de la piscina por el intercambiador de calor. Se hace una renovación completa del agua de la piscina una vez por mes.
- Se dispone de un cobertor térmico de burbujas de aire para la piscina pero no se usa.

- La tubería de vapor hacia la piscina no tiene línea de retorno de condensado y no forma parte del sistema instalado originalmente, por ello se desea un análisis de su dimensionamiento.

3.2.1. MATERIALES Y SOFTWARE

Los equipos utilizados para el análisis del sistema térmico se detallan en la tabla

Tabla 17

Materiales y software para el análisis del sistema térmico

Equipo	Marca/Modelo	Características	Observaciones
Cámara termográfica	Fluke Ti32	<ul style="list-style-type: none"> - Medición: -20 °C a +600 °C - Detector: 320 x 240 píxeles - Precisión: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2% (mayor valor) - Emisividad: 0,1 a 1,0 Ajustable en pantalla 	
Termómetro infrarrojo	Extech 42570	<ul style="list-style-type: none"> - Escala: -50 a 2200 °C - Resolución: 0,1 °C - Precisión: $\pm (1\% + 1^{\circ}\text{C})$ - Campo de visión: 50:1 - Emisividad: 0,1 a 1,0 Ajustable 	<ul style="list-style-type: none"> Termopar tipo K - Escala: -50 a 1370 °C - Resolución: 0,1 °C - Precisión: $\pm 1,5\% + 3^{\circ}\text{C}$

CONTINÚA →

Termómetro-logger	REED SD-947	- 4 canales - Resolución: 0,1 °C - Precisión: $\pm 0,8$ °C - Muestreo: 1 a 3600 s	Usado con termocuplas tipo K
Manómetros, Termómetros, medidores volumétricos de agua			
Mathcad Prime 3.1	-	Programa de cálculo en general	
SmartView 3.1	-	Programa de uso para la cámara térmica	
SteamTab 2.0	-	Propiedades termodinámicas y de transporte para de agua y vapor según IAWPS-95	
Fluid Properties Calculator	Universidad de Waterloo	Propiedades del aire	http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html

Se usó la cámara termográfica para la medición de temperatura. El ajuste de la emisividad, se lo hizo utilizando el termómetro infrarrojo y la termocupla incorporada del aparato de medición, cubierta por material aislante como recomienda (ASME, 2009)

Tabla 18

Emisividad medida para algunos materiales

Equipo	Material	Emisividad medida	Observaciones
Tanque de condensado Cabezal de distribución de vapor	Acero	0,95	Negro mate Sucio
Caldero	Acero	0,95	Pintado azul metalizado
Tubería de vapor	Acero	0,75	Oxidada
Intercambiador Piscina	Acero	0,25	Acero laminado
Intercambiador ACS	Aluminio	0,05	Recubrimiento de aislamiento de aluminio pulido
Aislante de tuberías	Foil de aluminio con papel	0,85	Color blanco
Tubería de ACS	Acero	0,95	Pintada gris mate

3.2.2. BALANCE DE ENERGÍA DE LA CALDERA**3.2.2.1. ENERGÍA DEL COMBUSTIBLE ($E_{combustible}$)**

El consumo de combustible para el año 2013 indicado en el análisis preliminar de Hospital, ver 2.5.4, fue de **2304,54 MWh** o **8296,34 GJ**

3.2.2.2. PÉRDIDAS EN LA CALDERA ($Q_{perdidas,caldera}$)

Análisis de los gases de combustión

Los resultados del análisis de combustión en base seca realizado por la CESAQ-PUCE entre el 7 y 9 de octubre del 2014 (ver Anexo 6), en resumen:

Tabla 19

Análisis de gases de combustión de la caldera

Parámetro	Método Analítico	Resultado	Unidades	Observaciones
Monóxido de carbono (CO)	EPA CP-PEE-001	<20	Ppm	
Dióxido de carbono (CO ₂)	EPA CP-PEE-001	8	%	
Óxido de azufre (SO ₂)	EPA CP-PEE-001	79	Ppm	
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	EPA CP-PEE-001	78	Ppm	
Oxígeno (CO)	EPA 3 ^a	9,3	%	
Presión barométrica	-	583,82	mmHg	77836,27 Pa
Temperatura chimenea	-	204,3	°C	

Eficiencia de la caldera

El cálculo de Entalpías, Propiedades del aire de combustión y Productos del gas de combustión está en el Anexo 7. El cálculo de las pérdidas como porcentaje de energía del combustible, se resume en la siguiente tabla

Tabla 20

Pérdidas que son función del porcentaje de energía del combustible y eficiencia de la combustión

Pérdida	Símbolo	Resultado	Unidad	Observaciones
Pérdida en gases secos	L_{gs}	9,598	%	$m_{gs} = 5.312 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{kJ}$
Pérdida por el agua formada en la combustión de H2 del combustible	L_{H2}	6,524	%	
Pérdida por agua en combustibles sólidos o líquidos	L_{H2O}	0,024	%	
Pérdida por CO en los gases de combustión	L_{CO}	0,010	%	
Pérdida por la formación de NOx	L_{NOx}	0,012	%	
Subtotal	-	16,17	%	Sin pérdidas por radiación y convección de la superficie
Eficiencia de la combustión	$n_{combustion}$	83,30	%	Ver 3.1.1.2

Para las pérdidas por radiación y convección de la superficie según se determinan por lo expuesto en la sección 3.1.1.2, literal F.6. Las temperaturas promedio y áreas obtenidas para cada superficie del caldero usando una emisividad de 0,95 y una temperatura ambiente promedio $T_{a,i} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$:

Tabla 21

Pérdidas de radiación y convección en la superficie del caldero en kilovatios

Superficie	$T_{s,i}$	A_i	$h_{con,i}$	$h_{rad,i}$	$L_{q,W}$	Observaciones
	[°C]	[m ²]	[Btu/ft ² ·h·°F]	[Btu/ft ² ·h·°F]	[kW]	
Frontal	63,2	3,49	0,81	1,02	10,63	- Áreas en Anexo 8 - Temperaturas en Anexo 9
Lateral	39,7	24,06	0,59	0,91	4,09	
Posterior	65,6	3,49	0,82	1,04	11,30	
TOTAL	-	-	-	-	26,02	Obtener las pérdidas como fracción de energía

El proceso para obtener las pérdidas como fracción de energía, consiste en usar la Ecuación 12, de forma iterativa:

$$L_q = 1,613 \%$$

La eficiencia del caldero, resulta:

$$n_{caldera} = 82,2 \%$$

El calor perdido en la caldera durante el año 2013, se calcula usando la Ecuación 3:

$$Q_{perdidas,caldera} = 1476,75 \text{ GJ}$$

3.2.2.3. PÉRDIDAS EN PURGAS (E_{purgas})

El caldero posee dos purgas ver Anexo 8: una de fondo de 1.25in (punto K) y una superficial de 1 in (punto F), sin embargo la purga superficial se la

realiza en la conexión del Control de nivel de agua con una tubería de 1,25 in (punto B). La presión promedio de trabajo del caldero de 5,5 barg.

Indicado por el personal de mantenimiento y registrado en las bitácoras, el tiempo de purga para cada ubicación, es de 5 segundos, tres veces al día, durante el año completo. El tiempo de purga anual resultante es 5475 segundos. El flujo de vapor es:

Tabla 22
Energía perdida en purgas de la caldera

Purga	<i>L</i>	<i>D</i>	Accesorios	<i>L_{total}</i>	<i>m_{purga}</i>	<i>Ė_{purga}</i>	<i>t</i>	<i>E_{purgas}</i>
	[m]	[in]	-	[m]	[kg/s]	[kW]	[s]	[GJ]
Purga de superficie	5,5	1,25	Codos (3)	19,8	2,5	1521,1	5475	8,33
			Válvula de globo (1)					
Purga de fondo	4,6	1,25	Codos (2)	18,3	2,5	1521,1	5475	8,33
			Válvula de globo (1)					
TOTAL	-	-	-	-	5	3042,2	-	16,66

Los resultados de la tabla son:

$$E_{purgas} = 16,66 \text{ GJ}$$

3.2.2.4. ENERGÍA DEL VAPOR (E_{vapor})

La energía que sale hacia la red de vapor ver, Ecuación 14:

$$E_{vapor} = E_{combustible} - Q_{perdidas,caldera} - E_{purgas}$$

$$E_{vapor} = 6802,94 \text{ GJ}$$

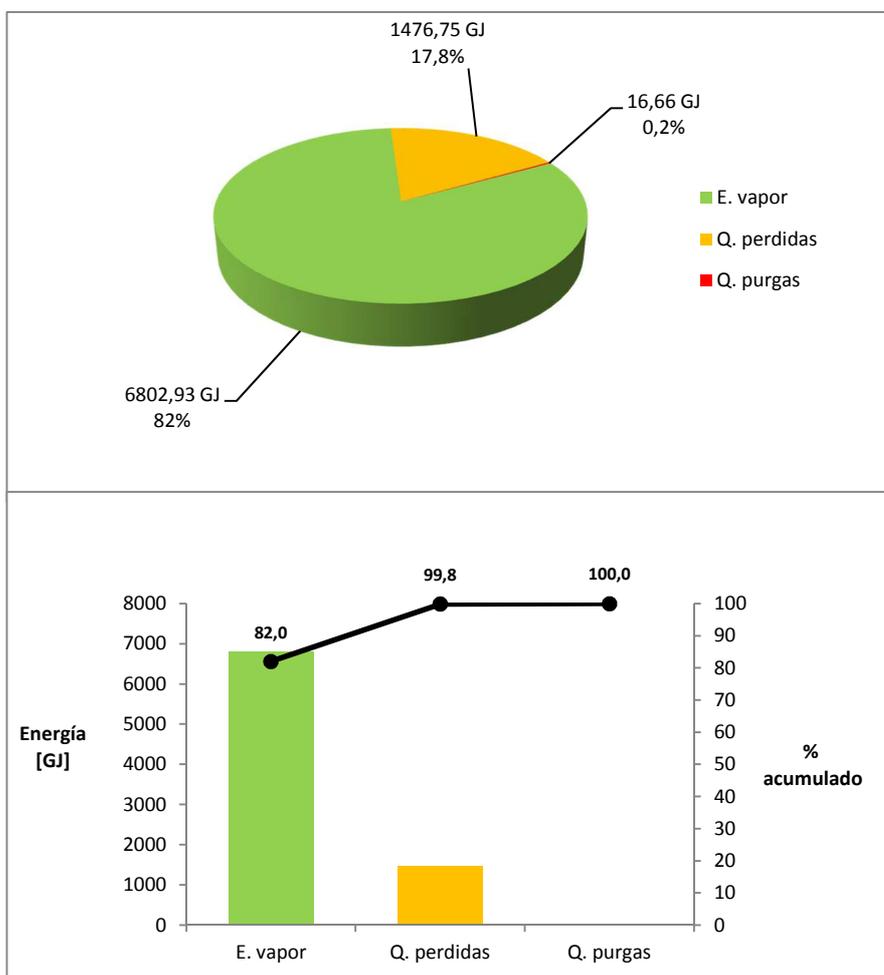


Figura 27. Balance de energía de la caldera

3.2.3. BALANCE DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN VAPOR

3.2.3.1. CALOR CONSUMIDO EN LAVANDERÍA, COCINA Y ESTERILIZACIÓN

Consumo de equipos de vapor

Los consumos de vapor son obtenidos a través de las placas características de cada dispositivo, de sus manuales de funcionamiento o a través de estimaciones. El uso de estos equipos son conocidos por estimaciones y/o encuestas realizadas al personal que labora en el Hospital.

El número de ciclos de trabajo para las lavadoras y secadoras se calcula en función del promedio de lencería procesada en lavandería de 22696,59 kg/mes para el año 2013 (ver Anexo 10), dividido para la capacidad total de las lavadoras de 115 kg. Como resultado se obtiene 25 ciclos al mes para cada lavadora.

Las secadoras tienen una capacidad instalada de 164 kg y se indicó el uso de 3 cargas en las secadoras por cada carga de una lavadora. Resulta en 25 ciclos por mes para cada secadora. Esto concuerda con lo expresado por el personal de lavandería.

Del cálculo, el resultado la siguiente tabla:

Tabla 23

Consumo de energía de equipos de vapor

No	Cód.	Cant	Equipo	Potencia		Ciclo de trabajo		Número de ciclos		Horas de uso por semana	Consumo semanal
				Potencia unitaria	Potencia total	Lun Vie	Sab Dom	L y V	S y D		
				[bhp]	[bhp]	[h]	[h]	-	-		
1	L-L1	1	Lavadora	13,76	13,76	0,75	0,75	20	5	18,75	9,11
2	L-L2	1	Lavadora	15,00	15,00	0,75	0,75	20	5	18,75	9,93
3	L-S1	1	Secadora	6,90	6,90	0,50	0,50	20	5	12,50	3,05
4	L-S2	1	Secadora	7,87	7,87	0,50	0,50	20	5	12,50	3,47
5	L-S3	1	Secadora	6,40	6,40	0,50	0,50	20	5	12,50	2,83
7	L-S4	1	Secadora	9,50	9,50	0,50	0,50	20	5	12,50	4,19
8	L-C1	1	Calandria	1,75	1,75	10,00	3,00	1	1	13,00	0,80
9	L-P1	2	Prensa	0,75	1,50	0,25	0,25	50	10	15,00	0,80
Lavandería											34,18
10	C-M1	2	Marmita	2,17	4,34	0,50	0,00	2	0	1,00	0,15
11	C-H1	1	Horno	2,00	2,00	0,50	0,50	5	2	3,50	0,25
Cocina											0,4
12	E-E1	1	Esterilizador	7,23	7,23	2,00	4	2,00	4	48,00	12,26
Esterilización											12,26
TOTAL											46,84

A partir del consumo de energía semanal, se obtiene la energía consumida en cada área para el año 2013 (52 semanas):

$$Q_{lavanderia} = 1777,35 \text{ GJ}$$

$$Q_{cocina} = 20,82 \text{ GJ}$$

$$Q_{esterilizacion} = 637,28 \text{ GJ}$$

3.2.3.2. PÉRDIDAS DE CALOR EN EQUIPOS Y ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Calor perdido en el depósito de almacenamiento de condensado, cabezal de distribución de vapor e intercambiador de calor de ACS

Para el cálculo de las pérdidas se sigue el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2 literal A. Las temperaturas de la superficie se encontraron con la ayuda de una cámara térmica ver Anexo 9, las propiedades del aire a la temperatura de película se hallaron con Fluid Properties Calculator.

Tabla 24

Variables termodinámicas calculadas para recipientes horizontales cilíndricos

Equipo	Datos del equipo					Aire			Pared cilíndrica		Pared plana	
	D	L_i	T_a	T_s	ε	T_f	Pr	Ra_D	Nu_D	h_{conv}	Nu_D	h_{conv}
	[m]	[m]	[°C]]	[°C]	-	[K]	-	-	-	[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
Tanque de condensado	1,07	2,50	25	77,4	0,95	324,35	0,7104	4,226E9	182,75	4,76	195,55	5,10
Cabezal de distribución de vapor	0,29	2,90	25	54,5	0,95	312,90	0,7121	5,580E7	47,36	4,42	52,18	4,87
Intercambiador de ACS	1,30	4,40	25	33,0	0,05	302,15	0,7139	1,603E9	134,46	2,72	144,59	2,92

El tiempo para el cálculo de la energía perdida del tanque de condensado y del cabezal de distribución de vapor corresponde al uso del caldero: 70 horas a la semana.

Tabla 25

Pérdidas de calor calculadas para recipientes horizontales cilíndricos

Equipo	Tiempo	Pared cilíndrica		Paredes planas		Calor perdido
	t	\dot{Q}	Q	\dot{Q}	Q	Q_i
	[h]	[kW]	[GJ]	[kW]	[GJ]	[GJ]
Tanque de condensado	3756	5,357	72,43	0,589	15,93	88,35
Cabezal de distribución de vapor	3756	0,860	11,63	0,022	0,61	12,24
Intercambiador de ACS	8760	0,436	13,74	0,034	2,17	15,90

Calor perdido en redes de tuberías

Para el cálculo de las pérdidas se sigue el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2 literal B. para tuberías con la temperatura de la superficie exterior conocida. La disposición de los equipos y tuberías se puede ver en los planos. Todas las tuberías son cédula 40, algunas con aislamiento térmico. Las lavachatas no entran en funcionamiento por lo que el vapor no sale desde el cabezal de distribución en la casa de máquinas. Debido a la poca cantidad de elementos y el aislamiento de la mayoría de la tubería, la tolerancia por accesorios es solo del 5%, tubería equivalente desnuda que se usa para calcular pérdidas de calor.

Tabla 26

Características de líneas de distribución de vapor y ACS

Circuito	Diámetro			Longitud					Masa <i>m</i>
	Diámetro nominal	Diámetro Sch. 40	Espesor aislante	Diámetro	Longitud tubería	Tolerancia accesorios	Longitud accesorios	Longitud total	
	\emptyset	\emptyset	<i>e</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	-	<i>L_{acc}</i>	<i>L_t</i>	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[m]	[%]	[m]	[m]	
Lavandería	2	60,3	1	111,1	135	5%	6,75	141,8	5,43
Cocina	1 1/4	42,2	1	93,0	85	5%	4,25	89,3	3,38
Esterilización	1 1/4	42,2	1	93,0	125	5%	6,25	131,3	3,38
Lavachatas	1	33,4	1	84,2	150	5%	7,50	157,5	2,50
Piscina	1/2	21,3	s/a	21,3	120	5%	6,00	126,0	1,27
Retorno de condensado	2	60,3	1	111,1	55	5%	2,75	57,8	5,43
	1	33,4	1	84,2	160	5%	8,00	168,0	2,50
ACS (principal)	4	114,3	s/a	114,3	65	5%	3,25	68,3	16,06
	3	88,9	s/a	88,9	100	5%	5,00	105,0	11,28
Retorno de ACS (principal)	3	88,9	s/a	88,9	65	5%	3,25	68,3	11,28
	2 1/2	73,0	s/a	73,0	100	5%	5,00	105,0	8,62

Las temperaturas del aislante de las tuberías de Esterilización, Cocina y Lavandería, medidas en diferentes puntos del recorrido, durante el funcionamiento del caldero promedian los 45°C, el retorno de condensado promedia 40°C. La temperatura de tuberías y accesorios desnudos se calculará en base de la temperatura de saturación promedio del caldero menos 20 psi, igual a 60 psig (temperatura de saturación de 152 °C).

En la tubería principal de ACS la temperatura promedio medida es 57,0°C, y la de retorno de ACS es 52,8°C según perfil de temperatura mostrado a continuación, ver Anexo 11.

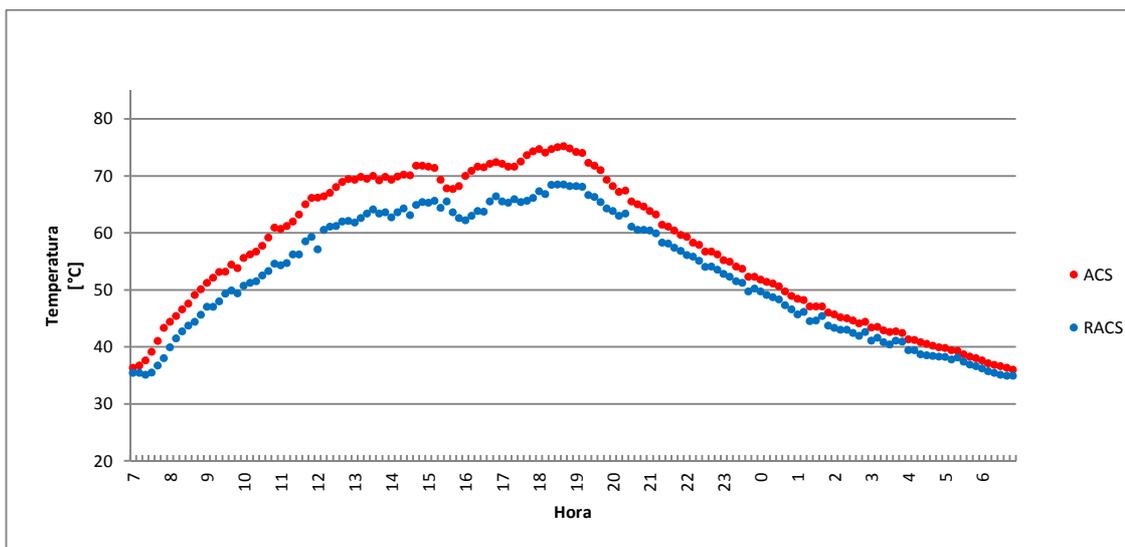


Figura 28. Perfil de temperatura para un día tipo, tuberías de ACS y retorno de ACS

El tiempo para el cálculo de la energía perdida en las tuberías del sistema de vapor corresponde a las horas de uso del caldero, mientras por las tuberías del sistema de ACS circula agua de forma continua todo el tiempo.

Tabla 27

Pérdidas de calor calculadas en tuberías

Circuito	t	Tubería				Tubería equivalente (accesorios)				Calor perdido
		T_s	h_{conv}	\dot{Q}	Q	T_s	h_{conv}	\dot{Q}	Q	Q_i
		[h]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m]	[GJ]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m]	[GJ]
Lavandería	3756	45	4,42	70,28	128,30	152	6,98	676,92	61,78	190,07
Cocina	3756	45	4,54	59,51	68,39	152	7,13	572,4	32,89	101,29
Esterilización	3756	45	4,54	59,51	100,58	152	7,13	572,4	48,37	148,95
Lavachatas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CONTINÚA →

Piscina	3756	152	9,27	149,29	242,23	152	9,27	149,29	12,11	254,34
Retorno de condensado	3756	40	3,69	48,16	35,82	152	6,98	676,92	25,17	60,99
	3756	40	3,86	37,17	80,42	152	7,23	521,39	56,40	136,82
Tuberías de sistema de vapor, ($Q_{tub,vapor}$)										892,45
ACS (principal)	8760	57,0	5,00	134,36	275,41	57,0	5,00	134,36	13,77	289,18
	8760	57,0	5,17	106,07	334,52	57,0	5,17	106,07	16,73	351,25
Retorno de ACS (principal)	8760	52,8	4,99	89,64	183,76	52,8	4,99	89,64	9,19	192,94
	8760	52,8	5,14	74,59	235,24	52,8	5,14	74,59	11,76	247,00
Tuberías de sistema de ACS, ($Q_{tub,ACS}$)										1080,37

Las pérdidas de calor en la red de vapor para tuberías no aisladas corresponden a las pérdidas en la tubería de piscina (tubería + accesorios) y la tubería equivalente en accesorios (resto de tuberías vapor), siendo

$$Q_{tub,vapor,piscina} = 254,34 \text{ GJ}$$

$$Q_{tub,vapor,accesorios} = 224,61 \text{ GJ}$$

$$Q_{tub,vapor,no\ aislada} = Q_{tub,vapor,accesorios} + Q_{tub,vapor,piscina}$$

$$Q_{tub,vapor,no\ aislada} = 478,95 \text{ GJ}$$

Las pérdidas de calor en tuberías aisladas es la pérdida total en tuberías de vapor menos el calor perdido en tuberías no aisladas

$$Q_{tub,vapor,aislada} = Q_{tub,vapor} - Q_{tub,vapor,no\ aislada}$$

$$Q_{tub,vapor,aislada} = 413,50 \text{ GJ}$$

3.2.3.3. PÉRDIDAS EN FUGAS DE VAPOR (E_{fugas})

Las pérdidas en fugas se evalúan a partir de haber contabilizado cuatro fugas dentro de la red de vapor. Se sigue el procedimiento indicado en la sección 3.1.2.3 y se determina es tiempo de fuga igual al tiempo de funcionamiento de la caldera, 3756 h/año. La entalpía del vapor fugado corresponde al del vapor saturado a la presión donde se halla la fuga.

Tabla 28
Pérdidas de energía por fugas

No.	Ubicación	P	\emptyset	$\dot{m}_{vapor,i}$	$h_{vapor,i}$	$\dot{E}_{fuga,i}$	$E_{fuga,i}$
		[psig]	[mm]	[kW]	[kJ/kg]	[kW]	[GJ]
1	Cabezal de distribución, válvula de caldero #2	80	1	2	2759,6	1,49	20,16
2	Tubería entrada a intercambiador de ACS	80	1	2	2759,6	1,49	20,16
3	Tubería entrada a intercambiador piscina	50	3	10	2742,9	7,41	100,18
4	Tubería entrada a trampa de vapor intercambiador piscina	50	1	1	2742,9	0,74	10,02
E_{fugas}							150,53

3.2.3.4. CALOR CONSUMIDO EN LA PISCINA ($Q_{piscina}$)

La piscina del Hospital tiene un área de superficie libre $A = 43,21 \text{ m}^2$, un volumen, $V = 42,03 \text{ m}^3$, y un área de contacto con los paredes que la contienen, $A_c = 26,92 \text{ m}^2$

Se obtuvo el perfil de temperatura del aire y agua de la piscina, con termocuplas sumergibles instaladas cerca al centro de la piscina y tomadas entre el día lunes 8h00 y martes 8h00:

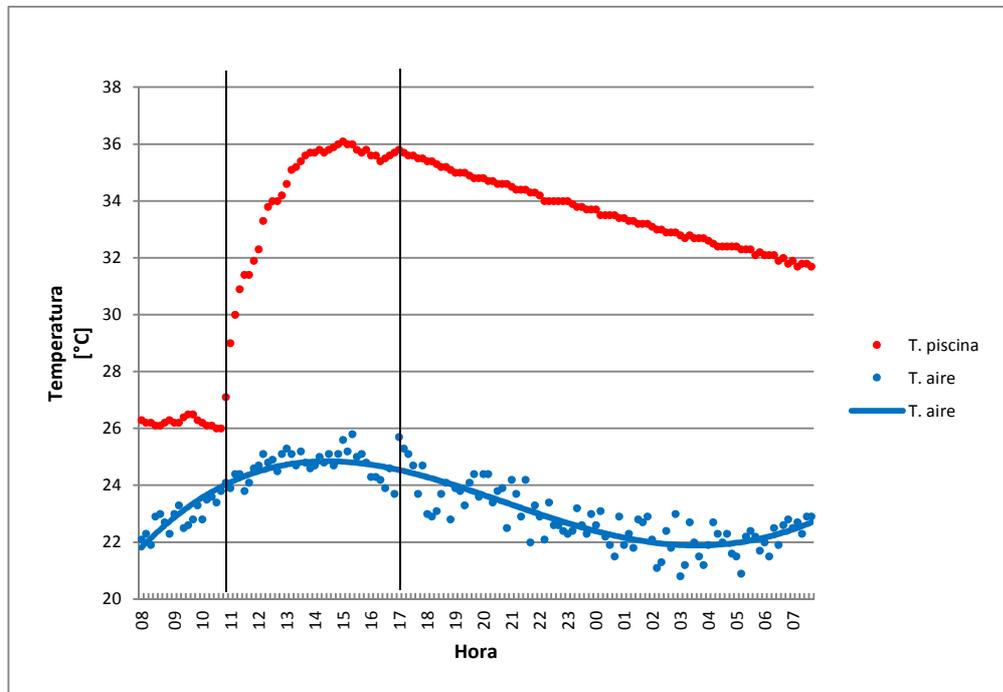


Figura 29. Temperatura del aire y agua de la piscina

Se observa la puesta en marcha a las 11 horas y se detiene la recirculación del agua a las 17 horas (de lunes a viernes). Existe una mayor caída de temperatura del agua de la piscina durante el fin de semana cuando no se pone en funcionamiento la piscina, por lo tanto el análisis se realiza por separado para el día lunes y para el resto de la semana (mar-vie)

Tabla 29

Temperaturas de referencia del aire y agua de la piscina, en grados centígrados

	Período	Símbolo	Agua	Aire	Observaciones
Temperatura Max	Lun-Vie	$T_{H2O,max}$	36,1	25,8	Temperatura medida
Temperatura Min	Lun	$T_{H2O,ini}$	26,2	-	Temperatura medida, Lun 11h
	Mar-Vie		31,7	-	Corresponde a la temperatura del Martes 8h
Temperatura Promedio	Lun	T_{H2O}	34,1	23,3	Promedio de datos del Lun, entre 11h y 17h
	Mar-Vie		35,1	23,3	Promedio de datos del Lun, desde la temperatura inicial igual a la mínima de Mar-Vie (31,7 °C) entre 12h y 17h

Calor perdido en el Intercambiador de calor de la piscina

Para el cálculo de las pérdidas se sigue el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2 literal D. El tanque se analiza en dos casos:

- Durante la operación: la temperatura exterior es igual a la temperatura promedio del agua de la piscina de 35,1°C.
- Durante el tiempo de Standby: mientras está encendido el caldero pero el agua no recircula, la temperatura exterior promedio medida con el termómetro infrarrojo fue de 80°C.

La temperatura del aire es de 25°C y la emisividad es de 0,25. Para el intercambiador en ambos casos se comprueba que $D \geq \frac{35 \cdot L}{Gr_L^{1/4}}$, por lo tanto se considera el cilindro como una placa.

Tabla 30**Variables termodinámicas calculadas para intercambiador de la piscina**

Estado	Datos del intercambiador			Aire			Superficie cilíndrica		Placas horizontales		Superior	Inferior
	D	L	T_s	T_f	Pr	Ra_L	Nu_L	L_c	Ra_L	Nu_L	Nu_L	Nu_L
	[m]	[m]	[°C]	[K]	-	-	-	[m]	-	-	-	-
Operación	1,27	1,34	35,1	303,20	0,7137	2,178E9	159,06	0,318	2,898E7	19,81	46,07	
Standby			80	325,65	0,7102	8,552E9	244,12		1,138E8	27,88	72,68	

El tiempo para el cálculo corresponde a las horas de funcionamiento y al tiempo en standby

Tabla 31**Pérdidas de calor calculadas para el intercambiador de la piscina**

Estado	Tiempo	Pared cilíndrica		Placa horizontal superior		Placa horizontal inferior		Calor perdido		
	t	h_{conv}	Q	h_{conv}	Q	h_{conv}	Q	\dot{Q}_i	Q_i	
	[h]	[W/m ² K]	[GJ]	[W/m ² K]	[GJ]	[W/m ² K]	[GJ]	[kW]	[GJ]	
Operación	1560	3,30	1,48	0,41	0,14	0,96	0,18	0,322	1,81	
Standby	2184	5,38	16,99	0,61	1,42	1,60	1,96	2,591	20,36	
									$Q_{int,piscina}$	22,17

Pérdidas en la piscina

Las pérdidas en el vaso de la piscina se calculan durante el funcionamiento (6 horas/día de lunes a viernes), donde se usan las temperaturas promedio del agua.

Para una temperatura del aire de 23,3 °C y humedad del 60%, la temperatura del punto de rocío es 15,11 °C, con una presión de saturación de $P_{a,ro} = 0,0172 \text{ bar}(a)$. La entalpía de vaporización del agua a esta temperatura es $h_{fg} = 2445,7 \text{ kJ/kg}$.

Tabla 32

Pérdidas en la piscina

Periodo	Evaporación					Convección	Radiación	Conducción	Pérdidas piscina	
	t	P_v	$P_{a,ro}$	\dot{m}_{evap}	Fa	Q_{evap}	Q_{conv}	Q_{rad}	Q_{pared}	$L_{piscina}$
	[h]	[kPa]	[kPa]	[kg/h]	-	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
Lun	312	5,36	1,718	14,71	0,65	11,22	7,68	3,11	0,005	22,01
Mar-Vie	1254	5,66		15,94		48,89	34,71	13,71	0,022	97,34
TOTAL	-	-	-	-	-	60,11	42,39	16,82	0,03	119,35

Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua

El número de puestas en marcha diario, equivalente a los días de funcionamiento de piscina. Mientras que el número de renovaciones del agua de la piscina indicado por el personal de rehabilitación es de un cambio de agua por mes.

Tabla 33

Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua

Periodo	Puesta en marcha		Renovación	
	<i>n</i>	<i>E_{pmd}</i>	<i>n</i>	<i>E_{renov}</i>
	-	[GJ]	-	[GJ]
Lun	52	90,44	0	0
Mar-Vie	209	161,55	12	28,88
TOTAL	-	251,99	-	28,88

El calor consumido en la piscina en el 2013 es, Ecuación 32:

$$Q_{piscina} = Q_{int,piscina} + L_{piscina} + E_{pmd} + E_{renov}$$

$$Q_{piscina} = 422,39 \text{ GJ}$$

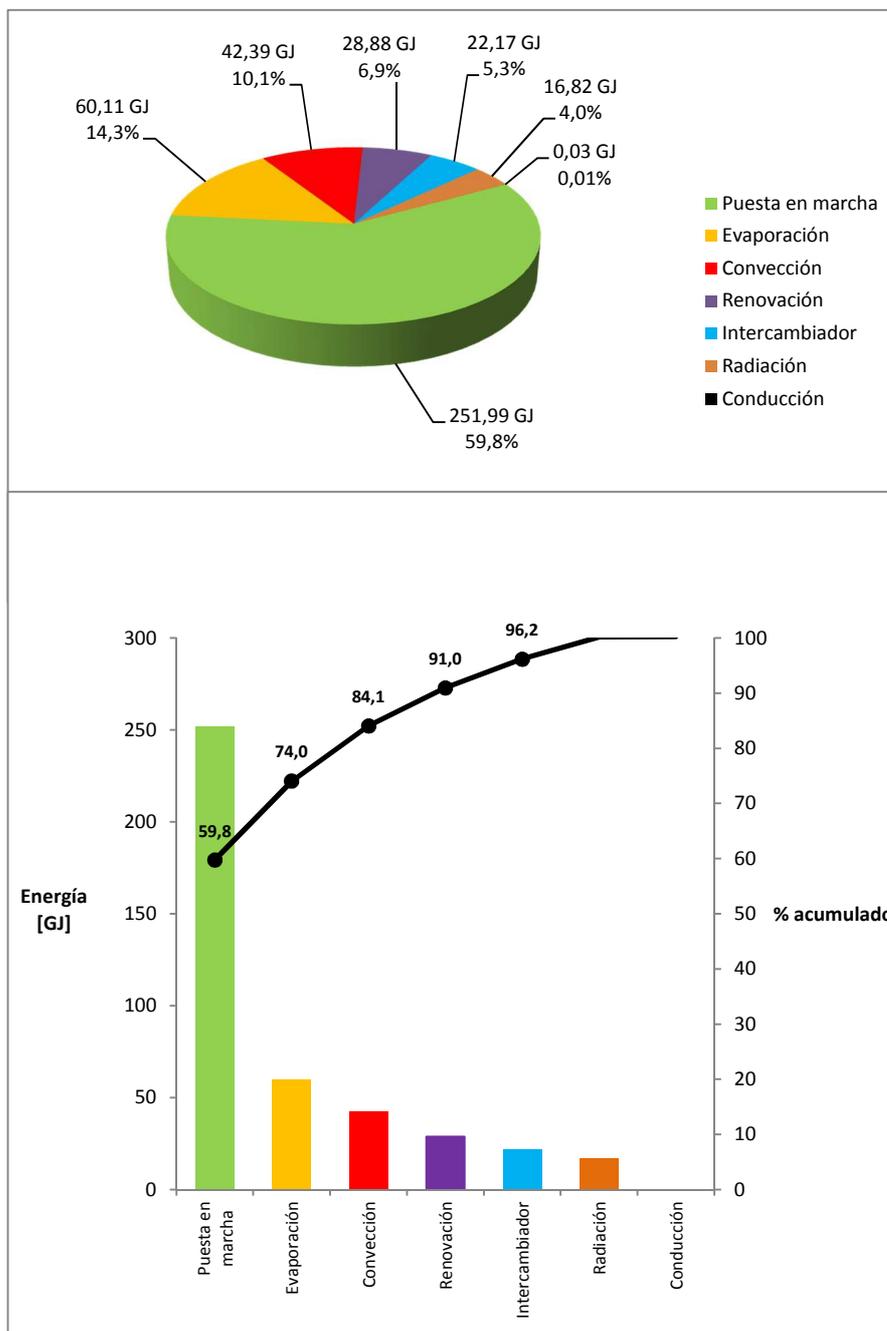


Figura 30. Balance de energía de la piscina

En la piscina, el mayor consumidor de energía es el proceso de puesta en marcha diaria, es importante indicar que la reducción de las pérdidas de calor en el vaso de la piscina durante su desuso, implican una reducción en la puesta en marcha. La convección, conducción y radiación en la piscina no

pueden disminuirse de forma práctica. La evaporación puede evitarse con el uso de mantas térmicas. El aislamiento del intercambiador no representa ahorros grandes por lo que no se calcula y la renovación requiere de un análisis más detallado para el cumplimiento de normativas.

Es deseable establecer la temperatura del agua de la piscina en límites establecidos por normativas.

3.2.3.5. CALOR CONSUMIDO EN LA RED DE ACS (Q_{ACS})

El ACS para el uso en hospitales o centros de salud debe alcanzar los 40°C según (MIDUVI, CCQ, 2011) ver anexo 12. De acuerdo a lo indicado en (ATECYR, IDAE, 2010), en edificios de alto riesgo como hospitales es necesario que el agua caliente y de recirculación haya alcanzado una temperatura de 70°C para prevención de legionelosis. Por lo tanto el sistema en la línea base cumple con lo indicado con una temperatura de ACS entre 70 y 80°C, ver Figura 28.

El consumo de agua para ACS se lo calcula con la diferencia del volumen de agua consumido en M1 y el volumen de agua que ingresa al tanque de condensado en M2, ver planos (Anexo 17). Dando un promedio anual de 8183,8 m³. La temperatura promedio de 54,9°C, se obtiene a partir de la medición directa en la tubería de ACS a la entrada de la bomba y a la salida del intercambiador de calor, ver Anexo 11. Los resultados de las pérdidas de calor en el Intercambiador de calor de ACS (ver Tabla 25) y en la red de tuberías de ACS (ver Tabla 27)

Tabla 34

Calor total consumido en la red de ACS

Energía consumida Intercambiador de calor de ACS			Calor perdido en Intercambiador de calor de ACS	Calor perdido en red de tuberías de ACS	Calor total consumido en red de ACS
V_{ACS}	T_{ACS}	E_{ACS}	$Q_{int,ACS}$	$Q_{tub,ACS}$	Q_{ACS}
[m ³]	[°C]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
8183,8	54,9	1262,29	15,90	1080,37	2358,56

El consumo preponderante de energía se halla en el consumo de ACS, donde resulta difícil reducir su uso, a menos que se cambien accesorios como grifería más eficiente. El calor perdido en tuberías se puede reducir significativamente con el uso de aislamiento térmico; y el calor perdido en la superficie exterior de los reservorios/intercambiadores de calor de ACS no puede reducirse debido al correcto aislamiento de este.

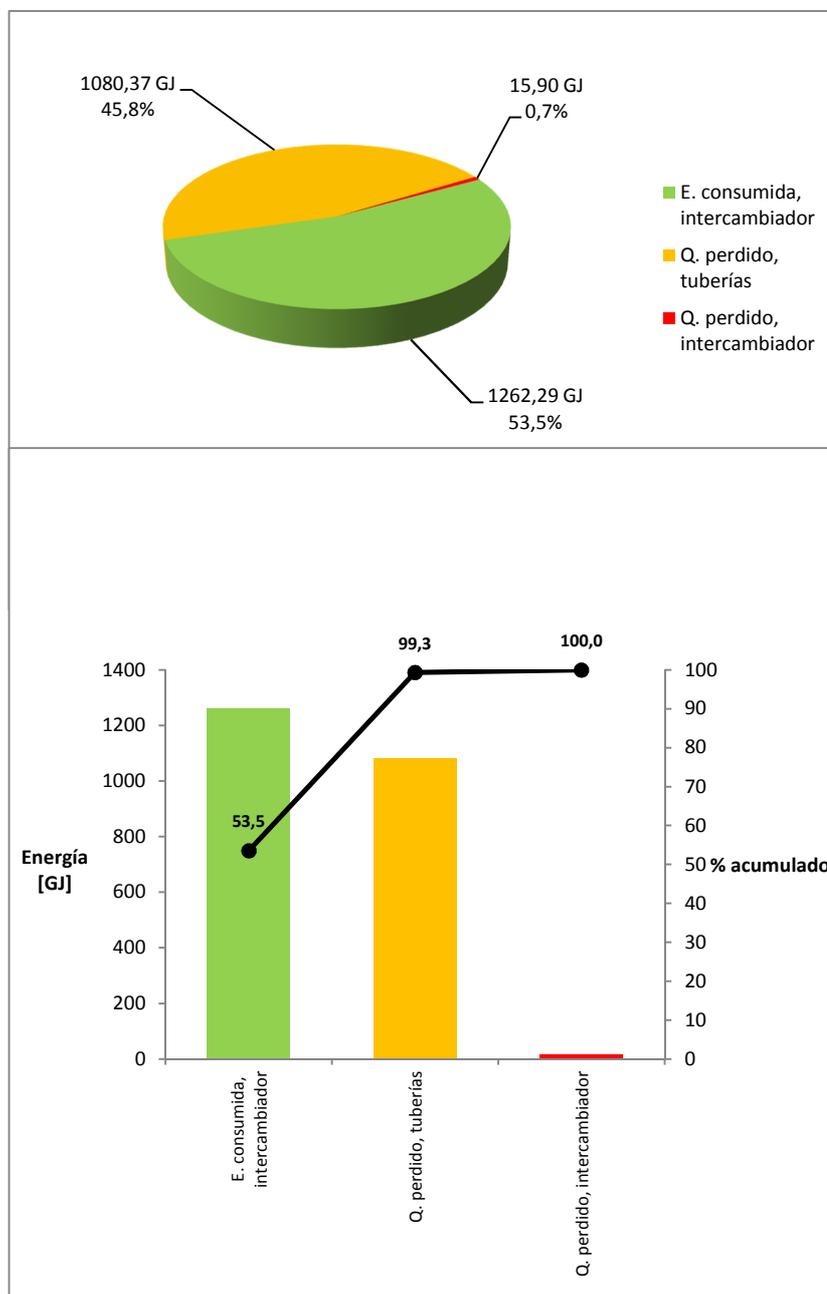


Figura 31. Balance de energía de ACS

3.2.3.6. PÉRDIDAS DE CONDENSADO EN PISCINA ($E_{condensado}$)

Se evalúan solamente las pérdidas de condensado en la piscina, porque tienen un interés energético de su recuperación. A partir de la energía consumida en piscina ver, sección 3.2.3.4, se puede determinar la masa de condensado. El condensado no se recupera y se libera a la atmósfera, por lo tanto la referencia se considera el agua de la red, para el cálculo ver sección 3.1.2.6.

Tabla 35

Pérdidas en condensado no recuperado en piscina

$Q_{piscina}$	h_{fg}	$m_{condensado}$	$T_{condensado}$	T_{red}	$E_{condensado}$
[GJ]	[kJ/kg]	[kg]	[°C]	[°C]	[GJ]
422,39	2742,85	154012	77,4	18,0	38,24

3.2.3.7. PÉRDIDAS DE CALOR

Las pérdidas de calor de acuerdo a la sección 3.1.2.2, son:

$$Q_{pérdidas,calor} = 1397,77 \text{ GJ}$$

$$Q_{indeterminadas} = 404,73 \text{ GJ}$$

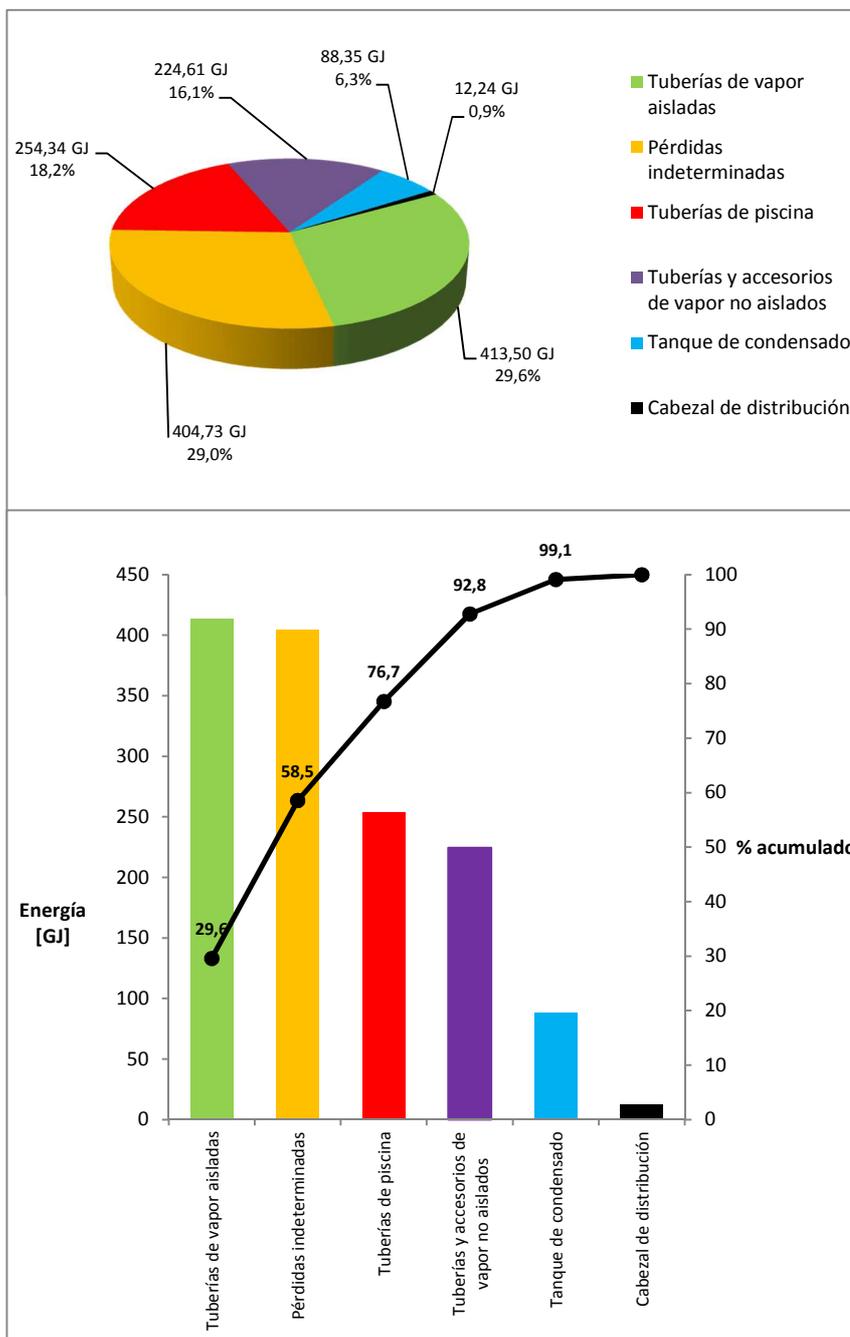


Figura 32. Balance de energía de pérdidas en el sistema de distribución de vapor

La mejora en el uso de la energía no es sustancial en las tuberías ya aisladas, no siendo este el caso para tuberías y accesorios no/mal aislados. La tubería de piscina puede ser aislada completamente al igual que el

tanque de condensado. El cabezal de distribución no representa un rubro importante y este se halla ya aislado.

Las pérdidas de calor indeterminadas corresponden a:

- Pérdidas por calor sensible en las tuberías, accesorios y equipos de vapor durante el arranque diario de la caldera.
- Pérdidas de calor en equipos, tuberías, accesorios y equipos de vapor no contabilizados.
- Pérdidas por fugas de vapor no detectadas y/o no contabilizadas
- Pérdidas en purgas: de equipos; tanque de condensado que debido al daño en la válvula de flotador para ingreso del agua de reposición, se purga de forma continua para evitar desborde del condensado
- Por trampas de vapor dañadas que implican un mal funcionamiento del sistema completo y la purga continua del condensado para mejorar la calidad del vapor.
- Pérdida de condensado en circuito de vapor de la piscina porque no hay una instalación de retorno y este se libera al vertedero.
- Pérdida de vapor/condensado en los autoclaves de esterilización.
- Pérdidas de calor en tuberías, accesorios y equipos de ACS que no se contabilizaron.

3.2.4. BALANCE ENERGÉTICO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL

Los resultados de los cálculos de la caldera y del sistema de distribución de vapor se muestran en la gráfica:

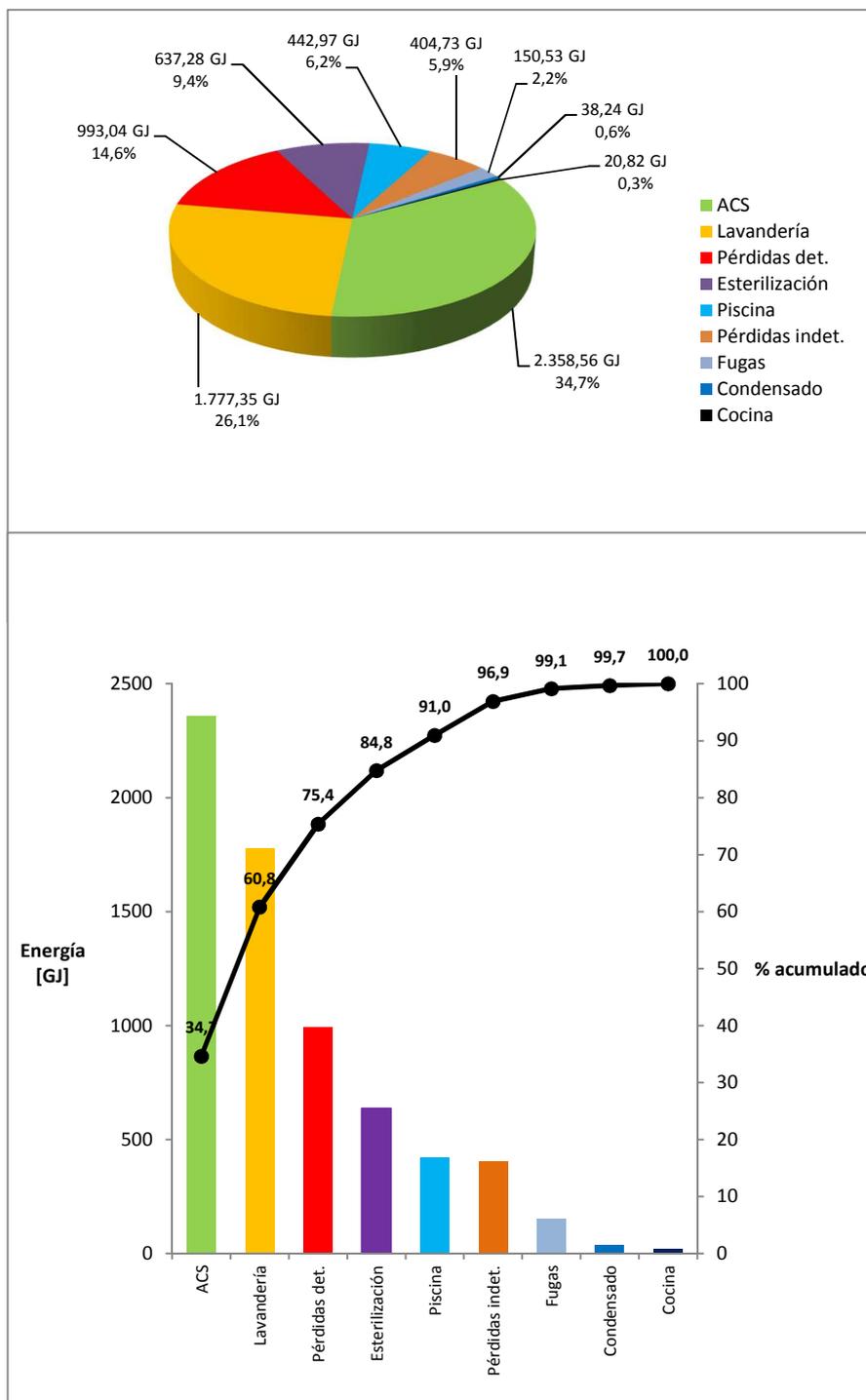


Figura 33. Balance de energía del sistema térmico del Hospital – Línea base

La mejora de eficiencia es significativa en el ACS y las pérdidas determinadas; el uso de equipos de lavandería, esterilización y cocina no puede reducirse debido a los requerimientos del hospital, para esto queda como alternativa el cambio de equipos más eficientes. Las pérdidas en piscina pueden ser reducidas en un porcentaje y las fugas deben ser reparadas.

Se establecen dos escenarios como políticas de mejora en la eficiencia energética, priorizados a partir de los gráficos de Pareto en las áreas que consumen mayor cantidad de energía:

Alternativa 1: Funcionamiento óptimo del sistema térmico del Hospital.

Las siguientes propuestas se aplican para mejorar la eficiencia de la línea base del sistema:

- Cambio o reparación de componentes críticos que se hallen en mal funcionamiento debido al desgaste o falla.
- Calibración o regulación de equipos.
- Implementación de nuevos componentes que no tengan un costo elevado, o que se dispongan en la bodega de mantenimiento. A menos que por normativa un equipo se encuentre incumpliendo lo indicado.
- Cambios en la operación/comportamiento del sistema

Esta alternativa representa el menor costo de inversión pero la recuperación de energía será menor a la alternativa 2.

Alternativa 2: Plan de eficiencia con cambios significativos en el sistema térmico.

Los cambios en el sistema implican además de los planteados en la Alternativa 1:

- Sustitución/implementación de equipos que se consideren necesarios para una reducción importante del consumo de energía.

Las posibilidades de mejora para un sistema de vapor, indicadas en la ASME EA3-2009 Energy Assessment for Steam Systems, junto con el detalle de las alternativas planteadas son:

Tabla 36

Medidas para mejora de eficiencia en el Sistema Térmico

Medida	Línea Base	Alternativa 1	Alternativa 2	Inversión	Observaciones	
1. Operaciones de la caldera						
A	Alternativas de combustible	Diesel	No aplica	No aplica	-	-
B	Reducir la presión de operación (sistemas de vapor saturado)	Pmin: 5barg Pmax: 6barg	No recomendable	No recomendable	NO	La presión de trabajo es adecuada para el uso de ciertos equipos en Lavandería, a pesar de usarse ERP en otras áreas
C	Incrementar la presión de operación (sistemas de cogeneración)	No dispone de sistema de cogeneración	No aplica	No aplica	-	
Reducir las pérdidas en la chimenea:						
D	1. Gestión de la combustión	Eficiencia de la caldera (82,2%)	SI	SI	SI	Incrementar la eficiencia

CONTINÚA →

	2. Pre calentamiento del aire de combustión	Instalado precalentador en quemador	-	-	-	Hacer mantenimiento
D	3. Economizador convencional del agua de alimentación	No instalado	NO	SI	SI	
	4. Economizador (es) de condensación	No instalado	NO	NO	-	
E	Mejorar la calidad del agua de la caldera y reducir la tasa de purga	Se dispone tratamiento químico	-	-	-	
		Ablandador	NO	NO	-	Es importante hacer un control de la calidad del agua
F	Reducir las pérdidas de radiación y convección de la carcasa	Aislamiento de fábrica en buen estado	NO	NO	-	
G	Recuperar energía de la purga	No instalado	NO	NO	-	
H	Bombeo del agua de alimentación	Bombeo en función de nivel, sin control de alimentación	NO	NO	-	
I	Distribución de la carga entre múltiples calderas	Se dispone de sólo una caldera	No aplica	No aplica	-	
J	Apagado de la caldera	Horario de trabajo L-V: 7am-7pm SD: 7am-1pm	NO	NO	-	
K	Gestión de potencia del ventilador de combustión	Quemador de control modulante	-	-	-	Hacer mantenimiento

2. Pérdidas en el sistema distribución

A	Reducción de caídas de presión	Tuberías en estado regular	NO	NO	-	
B	Reparar fugas	Existen fugas	SI	SI	NO	
C	Reparar o reemplazar trampas de vapor dañadas	Trampas de vapor sin mantenimiento en su mayoría dañadas	SI	SI	SI	Reemplazar todas las trampas de vapor
D	Mejoras del aislamiento	Accesorios tubería de vapor sin aislamiento	NO	SI	SI	
		Tubería hacia piscina sin aislamiento	SI	SI	SI	

CONTINÚA →

D	Tanque de condensado sin aislamiento		NO	SI	SI	
3. Uso final						
A	Reducir la demanda de vapor	-	-	-	-	La demanda de vapor se reduce con la toma de medidas de otro tipo. Directamente el consumo de vapor depende de la demanda por la ocupación del Hospital.
B	Aislar superficies calientes de equipos de proceso	Tubería de ACS sin aislamiento	NO	SI	SI	
C	Modificar parámetros del proceso	Pérdidas por evaporación en la piscina en horas de desuso	SI	SI	NO	Uso de la manta térmica existente reduce evaporación en las horas que no se ocupa la piscina, reduce también el salto térmico durante el arranque
		Temperatura de la piscina no controlada	SI	SI	SI	El control de la temperatura debe controlarse a una temperatura normalizada
D	Cambiar fuente de energía primaria (ej., vapor versus calentamiento por combustión directa)	El intercambiador y tuberías de la piscina en stanby pierden calor	SI	SI	NO	El vapor que va al intercambiador controlado de acuerdo a horarios de funcionamiento de la piscina
		No aplica	-	-	-	
E	Reparar fugas	No determinadas	-	-	-	Reparación si existen
4. Recolección y retorno del condensado						
A	Reparar o reemplazar trampas de vapor dañadas	Trampas de vapor sin mantenimiento en su mayoría dañadas	SI	SI	SI	Reemplazar / reparar todas las trampas de vapor
B	Reparar fugas	No existen	-	-	-	Reparación si existen
C	Incrementar recuperación del condensado	Piscina sin retorno de condensado	SI	SI	SI	
D	Recuperar vapor flash	No se recupera en tanque de condensado	NO	NO	-	
X	Otros	-	-	-	-	

3.3.FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HOSPITAL – ALTERNATIVA 1

3.3.1. OPERACIONES DE LA CALDERA

3.3.1.1. EFICIENCIA DE LA CALDERA

La eficiencia de la caldera indicada en el reporte de pruebas de instalación en el Hospital ver Anexo 3, según el funcionamiento del quemador es, en baja del 86% y en alta del 85%. Es necesario un mantenimiento detallado de la caldera y la calibración de la combustión con el uso de un analizador de gases de combustión, se propone como **mínimo** incrementar la eficiencia media actual de la caldera a un 84%, según el método de medición de la norma ASME PTC4-2008

$$n_{caldera} = 84,0 \%$$

3.3.2. PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

3.3.2.1. FUGAS DE VAPOR

Las fugas representan un rubro de energía perdido que puede ser reducido en su totalidad, a partir de su reparación se obtiene

$$E_{fugas} = 0 \text{ GJ}$$

3.3.2.2. TUBERÍA DE VAPOR HACIA PISCINA

Análisis de la línea de distribución hacia la piscina

Para el cálculo se supone haber aplicado las medidas de eficiencia para la piscina indicadas posteriormente en la Sección 3.3.3.1. El mayor consumo de vapor se dará al momento de la puesta en marcha diaria desde la temperatura más baja ($T_{H2O,ini} = 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$) los días lunes; hasta una $T_{H2O,max} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$, en un tiempo aproximado de 3 horas. Suponiendo un 80% de llenado

de la piscina y dividiendo para el tiempo indicado en alcanzar la temperatura deseada, se obtiene el flujo de energía para calentar la piscina. Se debe agregar la pérdida de potencia promedio, ver Tabla 43 de 19,4kW y pérdidas del intercambiador de 0,322 kW. No se toma en cuenta el calentamiento de la tubería durante el arranque porque se planifica realizar esta tarea primero para continuar con el calentamiento de la piscina.

$$\dot{Q}_{puesta\ en\ marcha} = 85,6\ kW$$

El vapor que ingresa al intercambiador de la piscina está limitado a 50 psig (3,45 barg), por lo tanto su volumen específico es 0,4185 m³/kg y la entalpía de vaporización es 2121,59 kJ/kg, dando un flujo de vapor de

$$\dot{m} = 145,3\ kg/hr$$

La tubería de vapor tiene las características ya indicadas en la Tabla 26. Y resumidas a continuación:

Tabla 37

Línea de distribución de vapor a piscina

Diámetro nominal	Diámetro Sch. 40	Área interna	Longitud tubería	Tolerancia accesorios	Longitud accesorios	Longitud total	Masa
\emptyset	\emptyset	A	L	-	L_{acc}	L_i	m
[in]	[mm]	[mm ²]	[m]	[%]	[m]	[m]	[kg/m]
1/2	21,3	195,1	120	5%	6,00	126,0	1,27

El resultado de los cálculos de velocidad y caída de presión son, ver sección 3.1.3.1

$$\Delta P \gg 0,1\ bar/50m$$

$$u = 86\ m/s$$

Con esta información se propone el cambio de la tubería de distribución hacia piscina y su correcto aislamiento. La selección de la tubería para la presión dada de 50 psig y el consumo de vapor especificado son:

Tabla 38

Dimensionamiento de tubería de distribución de vapor hacia piscina

Diámetro nominal	Diámetro interno Sch. 40	Área interna	u	ΔP	$\Delta P/50m$
\emptyset	\emptyset_{in}	A			
[in]	[mm]	[mm ²]	[m/s]	[bar]	[bar]
3/4	21,0	345,0	48,94	3,44	1,36
1	26,6	557,4	30,29	1,04	0,41
1 1/4	35,1	996,5	17,47	0,27	0,11

El diámetro de tubería adecuado es de **1,25 pulgadas**. Es obligatorio hacer la selección e implementación de todos los elementos necesarios para el buen funcionamiento de esta sección de la distribución de vapor. Posteriormente se hará la evaluación de las pérdidas en las tuberías incluido el sistema de aislamiento.

Calentamiento de la tubería de distribución de vapor

La tubería de 1,25 in con una longitud de 126 m, tiene una masa total de 425,9 kg. La capacidad calorífica del acero de 0,46 kJ/ kg K y para 50psig la temperatura que alcanza la tubería corresponde la de saturación del vapor de agua 145 °C, se tiene que la potencia es:

$$Q_{calentamiento} = m \cdot C_{acero} \cdot (T_{sat} - T_a)$$

$$Q_{calentamiento} = 23,51 MJ$$

Para una temperatura de superficie aislada de 45°C, la temperatura media durante el calentamiento es de 35°C

Tabla 39

Pérdidas en tuberías de distribución de vapor hacia piscina

Circuito	Tuberías						Calor perdido			
	Diámetro nominal	Longitud total	Aislante		Diámetro	Tol. acc.	T_a	T_s	h_{conv}	$\dot{Q}_{perdidas}$
	\emptyset	L_i	e	k_{ais}	D	-	[°C]	[°C]	[W/m²K]	[kW]
	[in]	[m]	[in]	[W/m K]	[mm]	[%]	[°C]	[°C]	[W/m²K]	[kW]
Piscina	1,25	126	1	0,035	93	5%	25	35	3,76	3,36

Para un tiempo asumido de 15 min para el calentamiento de las tuberías antes de la puesta en marcha de la piscina, la potencia calculada por las pérdidas de calor, más la energía de calentamiento es:

$$\dot{Q}_{tub,calentamiento} = \frac{Q_{calentamiento}}{t_{calentamiento}} + \dot{Q}_{perdidas}$$

$$\dot{Q}_{tub,calentamiento} = 29,5 \text{ kW}$$

Este valor es menor que la potencia requerida para la puesta en marcha de la piscina por lo que la línea de condensado se calcula en función de este último

Línea de retorno del condensado

La línea de condensado tendrá la misma longitud que la de vapor. Para su dimensionamiento se usa la tabla de dimensionamiento de tubería de condensado, ver Anexo 13, que se acopla a diferentes aspectos a tomar en cuenta como la presencia de condensado a temperaturas menores a 100°C y velocidades de flujo entre 15 y 20 m/s. La presión de la línea de condensado que desfoga en un tanque venteado a la atmósfera, pero alejada por 60 m de tubería adicional, se supone en 1 barg.

Tabla 40

Dimensionamiento de tubería de retorno de condensado de piscina

Temp. vapor	Presión línea condensado	Flujo condensado	Diámetro tubería condensado	Diámetro nominal
[°C]	[barg]	[kg/h]	[mm]	[in]
145	1	145,3	15	1/2 in

Pérdidas de calor en líneas de vapor y retorno de condensado de piscina

Las líneas de vapor y condensado que van a piscina se encontrarán aisladas y el cálculo se lo hace con el tiempo total de funcionamiento de la piscina.

Tabla 41

Pérdidas en tuberías principales y accesorios de Piscina. Con aislamiento

Circuito	Tuberías						Temperaturas				Calor perdido		
	Diám. nominal	Long total	Aislante		Diámetro	Tol. acc.	T_a	$T_{s,1}$	$T_{s,2}$	h_{conv}	\dot{Q}	t	Q
	\emptyset	L_i	e	k_{ais}	D	-	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m]	[h]	[GJ]
	[in]	[m]	[in]	[W/m K]	[mm]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m]	[h]	[GJ]
Vapor	1 1/4	126	1	0,035	93,0	5%		145	37,7	3,95	35,0		26,11
Retorno condensado	1/2	126	1	0,035	72,1	5%	25	90	32,0	3,58	14,03	1566	10,47
Tuberías de piscina, ($Q_{tub,vapor,piscina}$)												36,57	

3.3.3. USO FINAL

3.3.3.1. PISCINA

Control de temperatura de la piscina

Para el caso de la piscina resulta necesario que la temperatura del agua cumpla con normativas y se necesita un equipo para controlar la temperatura del agua, según la (MIDUVI, CCQ, 2011) se indica la temperatura de diseño para piscinas de rehabilitación entre 30 y 34 °C. Se utiliza el valor máximo para el análisis de la piscina bajo estas condiciones.

Pérdidas por evaporación en la piscina en horas de desuso

Se dispone de una manta térmica, que debe ser usada en horas de desuso de la piscina de 17h00 a 11h00 del siguiente día (18 horas). Se supondrá que las pérdidas por evaporación durante este periodo se reducen

en su totalidad, de forma que se pueda calcular la temperatura de inicio de la puesta en marcha diaria de la piscina y la energía ocupada en esta actividad.

Se obtiene la temperatura media del aire durante el desuso de 22,7°C para martes a viernes y un promedio de 23,3°C para el fin de semana (hasta inicio del lunes). Se requiere de un cálculo iterativo de las pérdidas en la piscina para las horas de desuso según lo indicado en 3.1.2.4 literal B. y se halla temperatura del agua, igualando las pérdidas en el vaso con el calor sensible perdido en el agua. De manera que:

$$Q_{conv} + Q_{rad} + Q_{pared} = V \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{H2O,max} - T_{H2O,ini})$$

Tabla 42

Pérdidas en la piscina en horas de desuso y temperatura final con cubierta térmica

Periodo	t	Temperaturas de referencia				Pérdidas piscina					$T_{H2O,ini}$
		T_a	$T_{H2O,max}$	T_{H2O}	Fa	Q_{evap}	Q_{conv}	Q_{rad}	Q_{pared}	$L_{piscina}$	
	[h]	[°C]	[°C]	[°C]	-	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[°C]
(S-D)	6	23,	34,0	30,3	0,6	0	901,9	414,8	0,57	1317,46	26,5
	6	3			5						
(M-V)											
17h00	1	22,	34,0	32,5	0,6	0	386,3	106,0	0,26	546,58	30,9
a	8	7			5						
11h00											

Pérdidas en la piscina

Luego de pasar el tiempo en desuso y con la manta térmica puesta, la temperatura de la piscina es de 26,5 y 30,9°C, para el lunes y el resto de la semana respectivamente. Se debe hacer el cálculo de las pérdidas en la

piscina con énfasis en el cambio de la energía de puesta en marcha diaria con estas temperaturas iniciales.

El aire de 23,3 °C y humedad del 60%, la temperatura del punto de rocío es 15,11 °C, con una presión de saturación de $P_{a,ro} = 0,0172 \text{ bar}(a)$. La entalpía de vaporización del agua a esta temperatura es $h_{fg} = 2445,7 \text{ kJ/kg}$.

Tabla 43

Pérdidas en la piscina con cubierta térmica

Periodo	Tiempo	Evaporación				Convección	Radiación	Conducción	Pérdidas piscina		
	t	P_v	$P_{a,ro}$	\dot{m}_{evap}	Fa	Q_{evap}	Q_{conv}	Q_{rad}	Q_{pared}	$\dot{L}_{piscina}$	$L_{piscina}$
	[h]	[kPa]	[kPa]	[kg/h]	-	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[kW]	[GJ]
Lun	312			14,59		11,13	7,58	3,08	0,005	19,4	21,79
Mar-Vie	1254	5,33	1,718	14,59	0,65	44,74	30,47	12,37	0,020	19,4	87,59
TOTAL	-	-	-	-	-	55,87	38,05	15,45	0,025	-	109,38

Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua

El número de puestas en marcha diario, equivalente a los días de funcionamiento de piscina. Mientras que el número de renovaciones del agua de la piscina es del 5% diario, por 20 días/mes de funcionamiento llega a una renovación completa del agua en un mes.

Tabla 44
Energía perdida por puesta en marcha diaria de la piscina y por renovación del agua en piscina con cubierta térmica

Periodo	Puesta en marcha		Renovación	
	<i>n</i>	E_{pmd}	<i>n</i>	E_{renov}
	-	[GJ]	-	[GJ]
Lun	52	68,51	0	0
Mar-Vie	209	113,82	12	27,20
TOTAL	-	182,33	-	27,20

Suministro de vapor de acuerdo a horario de funcionamiento de la piscina

Durante el funcionamiento del caldero llega vapor al intercambiador de la piscina pero mientras no se enciendan las bombas de recirculación (11h00 a 17h00), el intercambiador genera pérdidas de calor. La solución planteada es permitir el paso de vapor desde el cabezal de distribución hacia la piscina en el horario antes indicado, adicionando el correcto dimensionado de la ERP.

El calor perdido en el caso de la línea base es de 20,17 GJ al año, valor reducido aproximadamente en su totalidad si se toma la medida mencionada, ver Tabla 31

Tabla 45

Pérdidas en el intercambiador de piscina

Estado	Tiempo	Calor perdido	
	t	\dot{Q}_i	Q_i
	[h]	[kW]	[GJ]
Operación	1560	0,322	1,81
Standby	0	2,591	0
$Q_{int,piscina}$			1,81

El calor consumido en la piscina con cubierta térmica y con temperatura controlada de 34°C, Ecuación 32:

$$Q_{piscina} = Q_{int,piscina} + L_{piscina} + E_{pmd} + E_{renov}$$

$$Q_{piscina} = 320,72 \text{ GJ}$$

3.3.4. RECOLECCIÓN Y RETORNO DEL CONDENSADO

3.3.4.1. TRAMPAS DE VAPOR

Las estaciones de trampeo de vapor (ETV) no tienen mantenimiento continuo y se prevé un mal funcionamiento que desencadena en la baja calidad del vapor que llega a equipos de vapor. Esto provoca por ejemplo que en Lavandería, se necesite de una purga continuamente abierta al vertedero, disminuyendo la recuperación de condensado. Se plantea el cambio de todos los elementos de las estaciones de trampeo.

Con esta medida y el cambio de la válvula de flotador para alimentación del agua de reposición del tanque de condensado, se supone una reducción del 50% de las pérdidas indeterminadas, ver sección 3.2.3.7

$$Q_{indeterminadas} = 0,5 \cdot Q_{indeterminadas}$$

$$Q_{indeterminadas} = 221,49$$

3.3.4.2. CONDENSADO RECUPERADO EN PISCINA

Con el condensado retornando al tanque de condensados atmosférico, las pérdidas calculadas en la sección 3.2.3.6, se eliminan

$$E_{condensado} = 0 \text{ GJ}$$

3.4. PLAN DE EFICIENCIA CON CAMBIOS SIGNIFICATIVOS EN EL SISTEMA TÉRMICO – ALTERNATIVA 2

3.4.1. OPERACIONES DE LA CALDERA

3.4.1.1. ECONOMIZADOR CONVENCIONAL DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

El economizador recupera gran parte de energía de los gases de combustión, como regla general se incrementa un 5% de la eficiencia en la energía consumida del combustible para producir vapor en la caldera. La marca Superior fabricante del caldero permite la selección de un economizador a través de su dirección web. Como datos de entrada lo indicados en la tabla

Tabla 46

Datos para la selección del economizador de agua caliente

Tipo caldero	Combustible	Capacidad	Temp. Agua de alimentación	Temp. gases de combustión	Exceso de aire al 100% de carga	Eficiencia actual	Diámetro de la chimenea
					[bhp]		
Superior Mohawk	Oil 2 (Diesel)	200	77,4	203,4	74,98	82,2	50

Para calderas con potencias menores a 300 bhp, el economizador disponible es de tipo cilíndrico, las características del equipo son:

Tabla 47

Características del economizador de agua caliente

Economizador	Tipo	Recuperación de energía	Mejora eficiencia	Eficiencia del intercambiador
		[bhp]	[%]	[%]
Superior Economy 4[B4SS]	Cilíndrico	7,236	2,88	53

Con la recuperación de energía que se obtendría en el economizador la eficiencia del caldero se incrementaría en un 2,88%, bajo las condiciones propuestas en la alternativa 1 de la mejora de la eficiencia del caldero al 84%, la eficiencia del caldero alcanza

$$n_{caldera} = 86,88 \%$$

3.4.2. PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DISTRIBUCIÓN

3.4.2.1. AISLAMIENTO DE ACCESORIOS DE RED DE TUBERÍAS DE VAPOR

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 27, el cálculo corresponde al calor perdido en la tubería aislada por el porcentaje de tolerancia para accesorios del 5%.

$$Q_{tub,vapor,accesorios} = Q_{tub,vapor,aislada} \cdot 0,05$$

$$Q_{tub,vapor,accesorios} = 20,07 \text{ GJ}$$

3.4.2.2. AISLAMIENTO DE TANQUE DE CONDENSADO

El tiempo para el cálculo de la energía perdida del tanque de condensado corresponde al uso del caldero de 70 horas a la semana. Como resultado del proceso iterativo de cálculo ver Sección 3.1.2.2 literal D. Ver Anexo 14 para propiedades del aislante.

Tabla 48

Variables termodinámicas calculadas para el tanque de condensado para diferentes espesores de aislamiento

Equipo	Datos del equipo				Datos aislante			Temp. ext. aislante	Pared cilíndrica		Pared plana	
	D	L_i	T_a	$T_{s,1}$	k_{ais}	e	ε	$T_{s,2}$	Nu_D	h_{conv}	Nu_D	h_{conv}
	[m]	[m]	[°C]	[°C]	[W/m K]	[in]	-	[°C]	-	[W/m ² K]	-	[W/m ² K]
Tanque de condensado	1,07	2,50	25	77,4	0,042	1		33,6	115,77	2,85	124,84	3,07
						2	0,85	30,0	97,20	2,38	105,19	2,57
						3		28,5	87,26	2,13	95,65	2,31

Tabla 49

Pérdidas de calor calculadas para el tanque de condensado para diferentes espesores de aislamiento

Equipo	Esesor aislamiento	Tiempo	Pared cilíndrica		Paredes planas		Calor perdido	Reducción pérdidas
	<i>e</i>	<i>t</i>	\dot{Q}	<i>Q</i>	\dot{Q}	<i>Q</i>	<i>Q_i</i>	ΔQ_i
	[in]	[h]	[kW]	[GJ]	[kW]	[GJ]	[GJ]	[%]
Tanque de condensado	1		0,594	8,03	0,131	1,77	9,80	88,9
	2	3756	0,315	4,26	0,069	0,94	5,20	94,1
	3		0,212	2,87	0,047	0,63	3,50	96,0

Comparado con las pérdidas producidas en el tanque de condensado sin aislamiento de 88,35 GJ, el espesor de aislante de fibra de vidrio que presenta una mayor ventaja es 2 pulgadas, entonces

$$Q_{\text{tanque,condensado}} = 5,20 \text{ GJ}$$

3.4.2.3. AISLAMIENTO DE TUBERÍA PRINCIPAL DE ACS

El aislamiento completo de tubería principal y accesorios de ACS, se lo realiza con aislamiento fibra de vidrio de 1in de espesor acuerdo a recomendaciones del fabricante ver Anexo 15 y para propiedades del aislante ver Anexo 14.

Para el cálculo de las pérdidas se sigue el procedimiento descrito en la sección 3.1.2.2 literal D. El cálculo de las pérdidas en accesorios se obtiene incrementado el porcentaje de tolerancia como longitud equivalente de tubería.

Tabla 50

Pérdidas en tuberías principales y accesorios de ACS. Con aislamiento

Circuito	Tuberías					Temperaturas				Calor perdido			
	Diám nominal	Long total	Aislante		Diámetro	Tol. acc.	T_a	$T_{s,1}$	$T_{s,2}$	h_{conv}	\dot{Q}	t	Q
	\emptyset	L_i	e	k_{ais}	D	-							
	[in]	[m]	[in]	[W/m K]	[mm]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m²K]	[W/m]	[h]	[GJ]
ACS (principal)	4	68,3	1	0,035	165,1	5%	25	57,0	29,2	2,73	17,41	8760	37,48
	3	105,0	1	0,035	139,7	5%		57,0	29,1	2,78	14,49		47,98
Retorno de ACS (principal)	3	68,3	1	0,035	139,7	5%	52,8	28,6	2,66	12,56	10,99	36,37	
	2 1/2	105,0	1	0,035	123,8	5%	52,8	28,6	2,69	12,56			
Tuberías de sistema de ACS, ($Q_{tub,ACS}$)												148,87	

3.5. RESULTADOS

Basado en los cálculos de energía para diferentes alternativas de EE, se resume las tablas:

Tabla 51

Operaciones de caldera para alternativas de EE

ID	Medida	Elemento	Línea Base	Alternativa 1	Alternativa 2	Observaciones
1. Operaciones de la caldera						
	Mejora de eficiencia de la caldera, calibrando combustión	$n_{caldera}$	82,2%	84%	84%	Medida aplica para ambas alternativas
D	Instalación de economizador convencional del agua de alimentación	$n_{caldera}$	82,2%	-	86,88%	Medida incluye mejora de eficiencia con calibración de combustión

Tabla 52
Energía ahorrada en alternativas de EE

ID	Medida	Elemento	Línea	Alternativa 1		Alternativa 2	
			Base	Energía	Energía ahorrada	Energía	Energía ahorrada
			[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
B	Reparar fugas	E_{fugas}	150,53	0	150,53	0	150,53
	Aislar accesorios de red de tuberías de vapor	$Q_{tub,vapor,accesorios}$	224,61	-	-	20,07	204,54
D	Aislar tubería hacia piscina	$Q_{tub,vapor,piscina}$	254,34	36,57	217,77	36,57	217,77
	Aislar tanque de condensado	$Q_{tanque,condensado}$	88,35	-	-	5,20	83,87
B	Aislar tuberías principales de ACS	$Q_{tub,ACS}$	1080,37	-	-	148,87	931,50
	Uso de manta térmica en piscina						
C	Control de temperatura de la piscina	$Q_{piscina}$	422,39	320,72	101,67	320,72	101,67
	Suministro de vapor de acuerdo a horario de funcionamiento de piscina						
A	Reparar o reemplazar trampas de vapor dañadas	$Q_{indeterminadas}$	442,97	221,49	221,48	221,49	221,48
C	Recuperar condensado de piscina	$E_{condensado}$	38,24	0	38,24	0	38,24
X	Otros						
TOTAL			2701,80	-	729,69	-	1949,60
Porcentaje de ahorro a partir de energía total evaluada [%]			0	-	27,0	-	72,16

3.5.1. COMPARACIÓN DE ENERGÍA AHORRADA

Los consumos de energía para el sistema térmico y sus subsistemas, tomando en consideración la línea base del sistema térmico y las alternativas planteadas, se resumen y comparan en las siguientes gráficas.

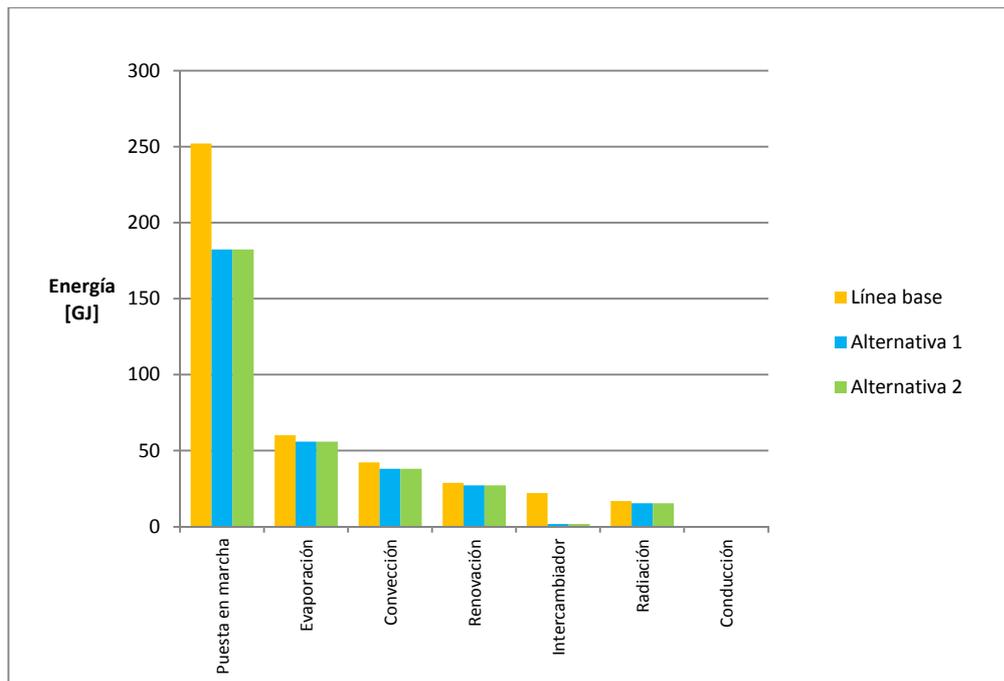


Figura 34. Energía consumida en piscina para alternativas de EE

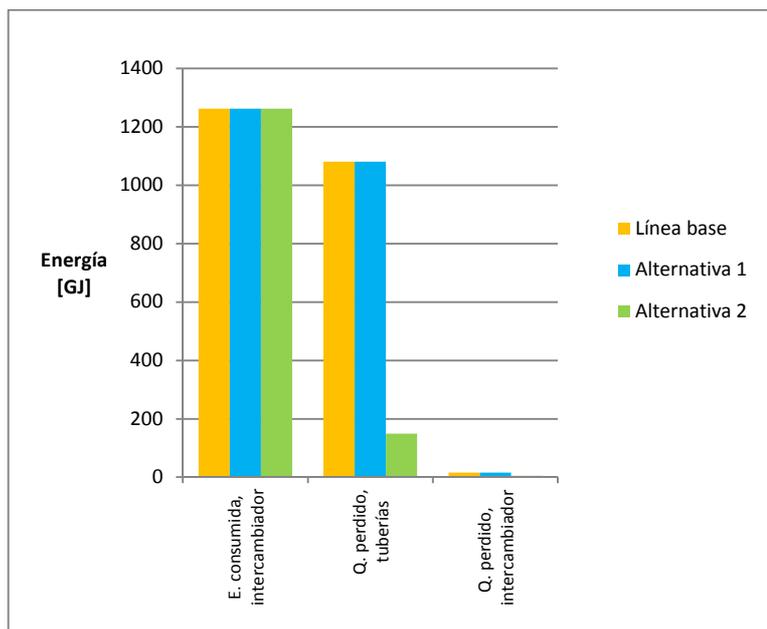


Figura 35. Energía consumida en el sistema de ACS para alternativas de EE

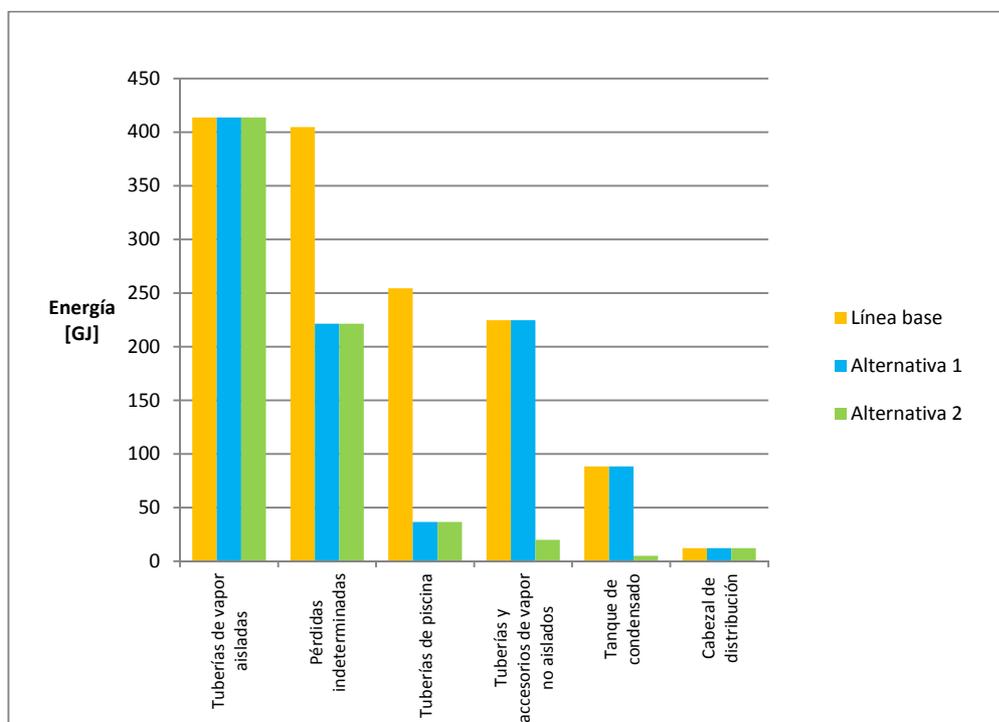


Figura 36. Energía consumida en el sistema de distribución de vapor para alternativas de EE

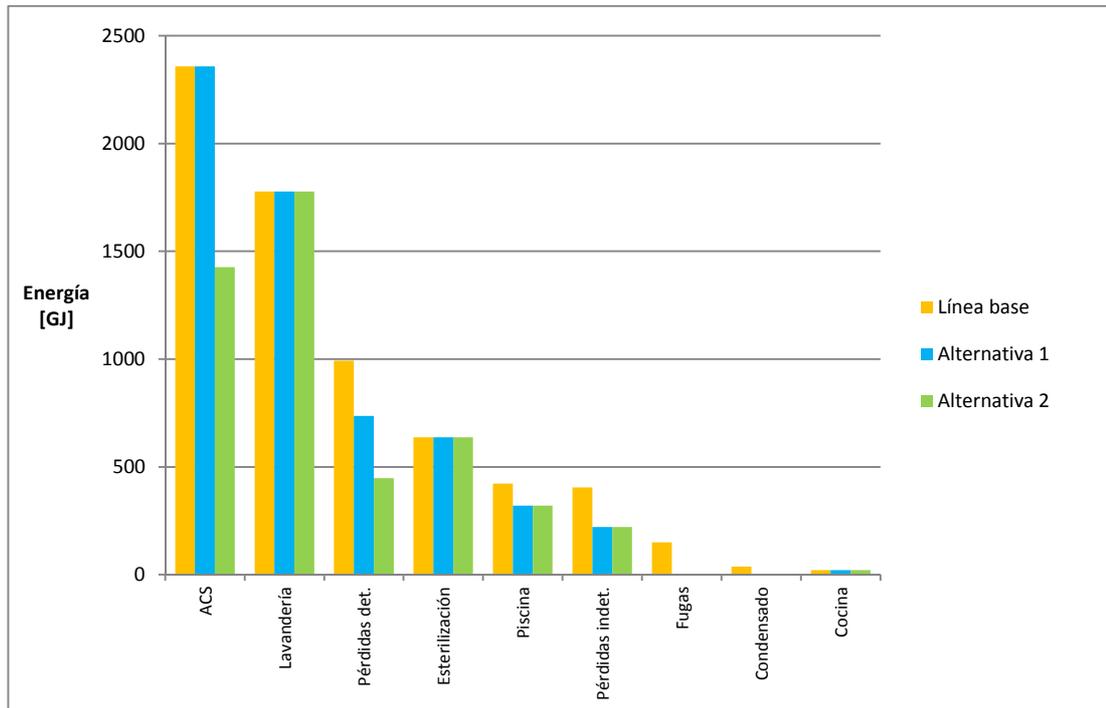


Figura 37. Energía consumida por el sistema térmico del Hospital para alternativas de EE

3.5.2. ENERGÍA DEL COMBUSTIBLE PARA LAS ALTERNATIVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La energía de vapor necesaria en el sistema térmico para cada alternativa de EE, corresponde a la energía de vapor de la línea base de **6802,94 GJ**, menos la energía ahorrada. La energía del combustible se calcula con la eficiencia del caldero de cada caso.

$$E_{combustible} = \frac{E_{purgas} + E_{vapor}}{n_{caldera}} \cdot 100, GJ$$

Tabla 53

Energía del combustible para alternativas de EE

Caso	Sistema de vapor			Caldera			
	ΔE	E_{vapor}	$n_{caldera}$	E_{purgas}	$E_{combustible}$	$\Delta E_{combustible}$	
	[GJ]	[GJ]	[%]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[%]
Línea base	0	6802,94	82,2		8296,35	0	0
Alternativa 1	-729,69	6073,25	84,0	16,66	7249,89	-1046,46	-12,61
Alternativa 2	-1949,60	4853,44	86,88		5605,43	-2690,92	-32,43

El costo de la energía se evalúa a partir de los consumos de la Tabla 53, el PCS del diesel, su densidad y valor de venta en el mercado.

Tabla 54

Costo de energía del combustible para alternativas de EE

Caso	Costo energía		Costo energía ahorrada	
	[USD/año]	[USD/mes]	[USD/año]	[USD/mes]
Línea base	55553,52	4629,46	0	0
Alternativa 1	48546,34	4045,53	-7007,18	-583,93
Alternativa 2	37534,79	3127,90	-18018,73	-1501,56

3.5.3. ÍNDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se evalúan los indicadores de eficiencia energética, según lo dispuesto en la sección 2.5.5 y se comparan con índices exógenos tabulados en la

Tabla 4. Es importante indicar que para el cálculo de indicadores en el sistema térmico, se incluye el GLP usado en cocina.

Los indicadores para la línea base, corresponden al año 2013, con consumos y costos de energía mostrados en las secciones 0 y 2.5.4, un área de construcción bruta de 16713 m² (ver sección 2.4.4), 151 camas censables (ver Figura 13) y una ocupación del 83%.

Tabla 55

Indicadores de eficiencia energética para el sistema térmico (GLP + diesel) del Hospital IESS – Ibarra

Índice de EE	Unidades	Línea base	Alternativa 1	Alternativa 2
IEG-E1	MWh / año	3248,8	2958,1	2501,4
IEG-E2	kWh / m ² -año	194,4	177,0	149,7
IEG-E3	MWh / cama-año	25,9	23,6	20,0
IEG-C1	USD / año	121893,5	114886,3	103874,8
IEG-C2	USD / m ² -año	7,3	6,9	6,2
IEG-C3	USD / cama-año	972,6	916,7	828,8
IET-E1	MWh / año	2404,0	2113,3	1656,6
IET-E2	kWh / m ² -año	143,8	126,4	99,1
IET-E3	MWh / cama-año	19,2	16,9	13,2
IET-E4	KW / cama	19,6	19,6	19,6
IET-C1	USD / año	64747,5	57740,3	46728,8
IET-C2	USD / m ² -año	3,9	3,5	2,8
IET-C3	USD / cama-año	516,6	460,7	372,9

Las siglas para denominar el país evaluado según el indicador en las gráficas que siguen, son: CA (Canadá), CH (Chile), EU (Estados Unidos), IT (Italia), SU (Suecia), SZ (Suiza)

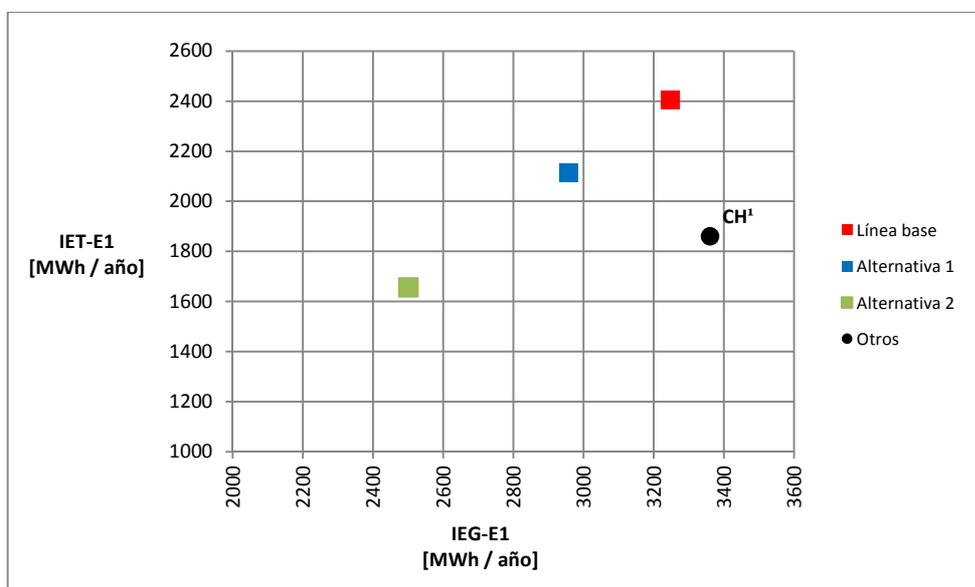


Figura 38. Indicador de eficiencia IEG-E1 e IET-E1

¹ Entre 100 y 200 camas (Vera, 2008)

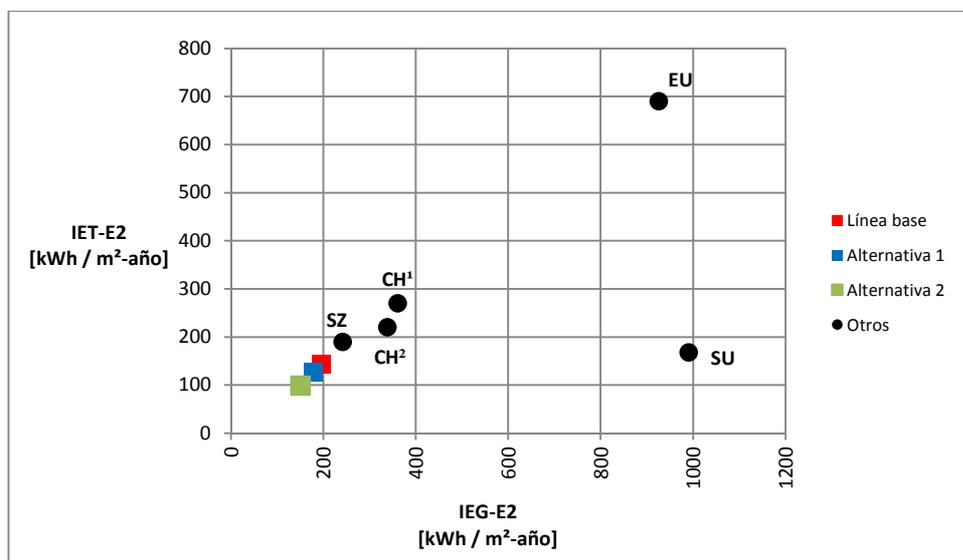


Figura 39. Indicador de eficiencia IEG-E2 e IET-E2

¹ Área de construcción entre 10000 m² y 20000 m² (Vera, 2008)

² Año de edificación 1980-1990 (Vera, 2008)

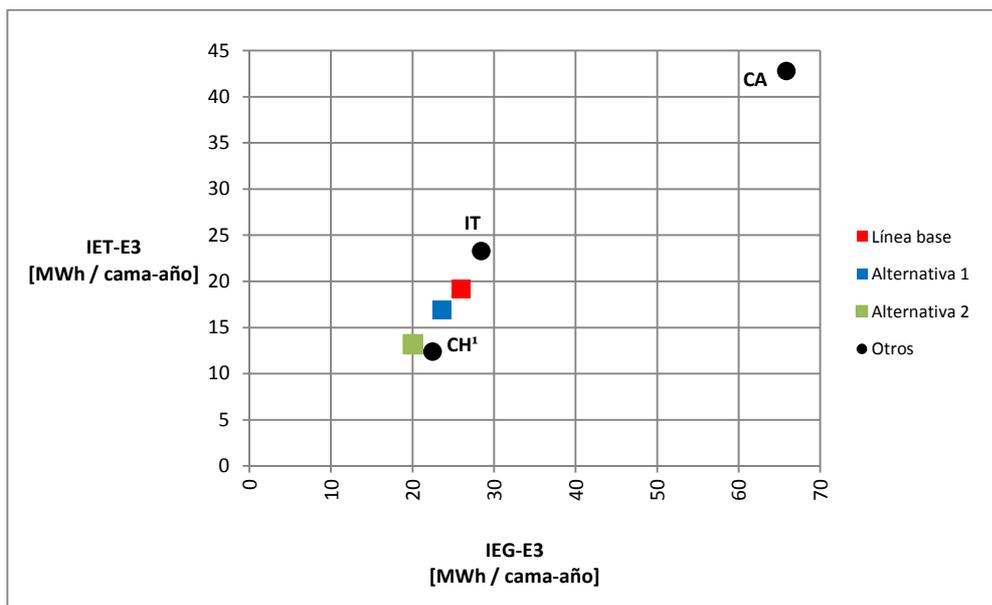


Figura 40. Indicador de eficiencia IEG-E3 e IET-E3

¹ Entre 100 y 200 camas (Vera, 2008)

Los indicadores muestran un bajo consumo de energía con respecto a otros países, esto principalmente debido a que no es necesario el uso de climatización por las ventajas climáticas que tiene el Ecuador, adicionalmente es importante verificar las muchas variables que pueden influir en el funcionamiento de un hospital.

CAPITULO 4 GESTIÓN ENERGÉTICA DEL HOSPITAL.

A partir de los resultados obtenidos del planteamiento de las alternativas de EE, se hace una evaluación económica aproximada de las oportunidades de ahorro. Primero se efectúa una cotización de los elementos y dispositivos necesarios para aplicar cada alternativa de EE

4.1. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS OPORTUNIDADES DE AHORRO EN LOS SISTEMAS.

Los costos de las medidas de implementación para la Alternativa 1, se resumen en la tabla.

Tabla 56

Costos asociados a implementación de Alternativa 1

Concepto	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
			[USD]	[USD]
Caldera				
Tratamiento del agua de la caldera	Tratamiento químico, 2 tanques/año	2	350	700
Análisis de gases y calibración	2 veces al año	250	2	500
Total				1200
Fugas				
Tuberías acero Sch. 40	1/2 in	5	2,5	12,5
	1 1/2 in	5	6,5	32,5
Insumos, mano de obra	-	1	250	250
Total				295
Tubería piscina				
Tuberías acero Sch. 40 - vapor	1 1/4 in	130	4	520
Tuberías acero Sch. 40 - condensado	1/2 in	130	2,5	325

CONTINÚA →

Aislamiento de fibra de vidrio tubería 1in	1 1/4 in	150	6,5	975
Aislamiento de fibra de vidrio tubería 1in	1/2 in	150	4,2	630
Aislamiento de fibra de vidrio accesorios	Fiberglass Pipe and tank (12,8m*1,20m)	8	200	1600
ETV tubería c/50m	-	2	1200	2400
ERP piscina	-	1	2700	2700
Insumos, mano de obra	-	1	1000	1000
Total				10150
Temperatura piscina				
Controlador de temperatura, mediante válvula de 3 vías	-	1	1500	1500
Insumos, mano de obra	-	1	400	400
Total				1900
Trampas de vapor				
ETV varias	-	6	1200	7200
Insumos, mano de obra	-	1	250	250
Total				7450
TOTAL ALTERNATIVA 1				19795

Para la Alternativa 2, los costos de implementación se detallan a continuación:

Tabla 57

Costos asociados a implementación de Alternativa 2

Concepto	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
		-	[USD]	[USD]
Economizador				
Economizador convencional de agua de la caldera	Superior Economy 4[B4SS]	1	21000	24000
Insumos, mano de obra	-	1	800	800
Total				24800
Accesorios vapor				
Aislamiento de fibra de vidrio 1in	Fiberglass Pipe and tank (12,8m*1,20m)	5	200	1000
Insumos, mano de obra	-	1	500	500
Total				1500

CONTINÚA →

Aislamiento tanque cond				
Aislamiento de fibra de vidrio 1in	Fiberglass Pipe and tank (12,8m*1,20m)	2	200	400
Insumos, mano de obra	-	1	150	150
Total				550
ACS				
Aislamiento de fibra de vidrio tubería 1in	4 in	70	11,5	805
	3 in	170	8,9	1513
	2 1/2 in	100	80,2	8020
Aislamiento de fibra de vidrio 1in (accesorios)	Fiberglass Pipe and tank (12,8m*1,20m)	4	200	800
Insumos, mano de obra	-	1	700	700
Total				11838
TOTAL ALTERNATIVA 2				58438

4.2. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.

El costo de la energía se puede ver en la Tabla 54 y se necesita hacer un análisis económico comparándolo con los costos generados por la implementación de cada alternativa

Ingreso anual neto

El ingreso anual neto se calcula en función de los ingresos y egresos totales del proyecto, de forma que el ingreso anual neto simplificado, es

$$IAN = Total \text{ ingresos, año} - Total \text{ egresos, año}$$

$$IAN = Costo \text{ energía ahorrada, año}$$

Valor actual neto (VAN)

Para el cálculo del VAN, se conoce que la tasa de interés actual es del 8,1%, los resultados son:

Tabla 58

VAN para alternativas de EE planteadas

Año	Alternativa 1			Alternativa 2		
	Costo de inversión [USD]	-19795		Costo de inversión [USD]	-58438	
	Ingreso anual neto	VNA	TIR	Ingreso anual neto	VNA	TIR
	[USD]	[USD]	[%]	[USD]	[USD]	[%]
1	7007,18	-12315,33	-64,60	18018,73	-38639,62	-69,17
2	7007,18	-6768,23	-20,23	18018,73	-24375,43	-26,95
3	7007,18	-1636,77	3,07	18018,73	-11180,06	-3,80
4	7007,18	3110,18	15,52	18018,73	1026,57	8,95
5	7007,18	7501,44	22,64	18018,73	12318,54	16,41

Los resultados indican un retorno de la inversión de 4 años, siendo más favorable la Alternativa 2, ya que a partir de la recuperación de la inversión, el ahorro de energía y por ende el ingreso neto positivo es mucho mayor que en la Alternativa 1.

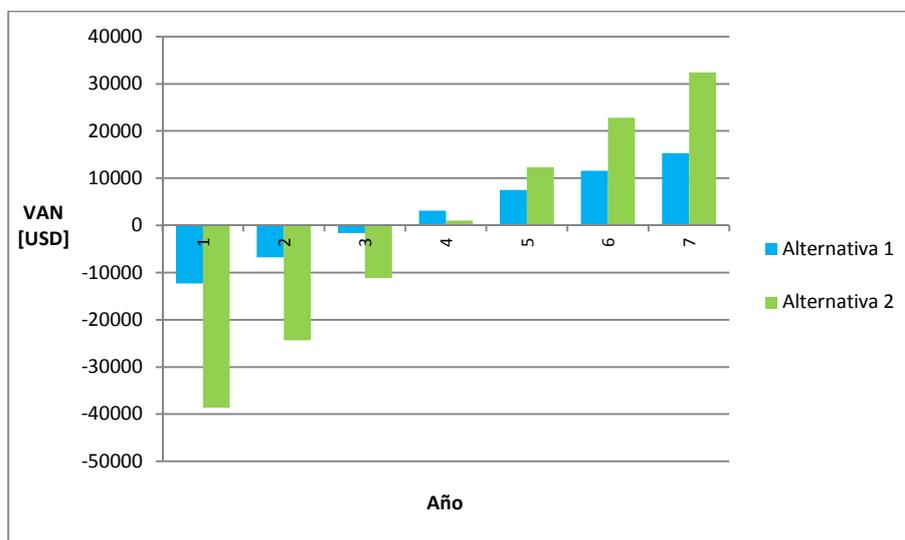


Figura 41. VAN para las alternativas de EE planteadas

4.3. ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO PARA EL SISTEMA TÉRMICO

Una vez seleccionada la Alternativa 2 de EE por la ventaja energética y económica antes expuesta, se resumen las estrategias a implementar ya indicadas y calculadas en la sección 3.4

- La eficiencia de la caldera debe ser mejorada con la correcta calibración de la combustión, como referencia se dispone del análisis realizado en la instalación de esta en el hospital. Y también se propone la instalación de un economizador convencional para el calentamiento del agua de alimentación.
- Las fugas de vapor en el sistema de distribución, representan un rubro de energía perdido que debe ser reducido en su totalidad, con la ventaja que representan una baja inversión.
- La tubería de vapor hacia la piscina una vez analizada y rediseñada debe cambiarse e instalarse con los accesorios necesarios como ETV y ERP, adicionalmente se instalará la tubería de retorno de condensado que en la actualidad no existe.
- En la piscina se plantea hacer uso de la manta térmica que se encuentra instalada para reducir las pérdidas de calor, principalmente las ocasionadas por la evaporación durante las horas de desuso. Se debe instalar un control de temperatura para cumplir con la temperatura que se indica por normativa de máximo 34 °C. Y se recomienda no abrir el suministro de vapor hacia el circuito de piscina en las horas de desuso, a fin de reducir pérdidas de calor en estos periodos.
- Es importante el análisis de las trampas de vapor y los elementos asociados para realizar reparaciones y/o sustituciones de componentes defectuosos. Un funcionamiento inadecuado se traduce en: el uso de

un vapor de baja calidad, con menor contenido energético para los equipos que lo utilizan; y que se dejen purgas continuas para liberar el condensado. Estas son pérdidas de importancia por la falta de mantenimiento de las instalaciones de vapor.

- A fin de evitar importantes pérdidas de calor por convección y radiación, se propone el aislamiento de tuberías y accesorios que no lo poseen o están mal aisladas. También se debe aislar el tanque de condensados.
- Para el sistema de producción y distribución de ACS, que representa el mayor consumo de energía, la posibilidad de ahorro está en el aislamiento térmico de las tuberías principales.
- Es de vital importancia la elaboración y aplicación de un sistema integral de mantenimiento a fin de optimizar el funcionamiento de los elementos de vapor y del sistema como conjunto. Esto conlleva a evitar pérdidas de energía por fallos o disfuncionalidades.

CONCLUSIONES

- En la línea base (año 2013) del Hospital IESS-Ibarra, el sistema térmico para la producción de vapor, tuvo un consumo de Diesel de 8296,35GJ, que representa el 71% de la matriz energética del Hospital. En términos monetarios, los 55553 USD son el 46% de los costos de energía. Con la implementación de medidas de EE, la Alternativa 1 teoriza un consumo de 7249,89 GJ y la Alternativa 2 de 5605,43 GJ, con una reducción del consumo energético del 12,61% y 32,43% respectivamente. La reducción del consumo de energía es directamente proporcional a la reducción de gastos de energía.
- La eficiencia actual de la caldera pirotubular del Hospital, puede ser mejorada. Se calculó la eficiencia actual del 82,2%, a partir de un análisis de gases de combustión y se aplicó la norma ASME PTC4-2008. En la Alternativa 1, la eficiencia se mejora al 84% con la calibración de la combustión y en la Alternativa 2 adicionalmente se plantea implementación de un economizador convencional de agua caliente, se alcanza una eficiencia del 86,7%. Esto se traduce en reducciones notables del consumo de energía evaluadas en combinación con otras medidas de ahorro.
- A partir del balance de energía del sistema de distribución y consumo de vapor se determinó en la línea base que los mayores consumidores de acuerdo al principio de 80/20, suman el 84,8% del consumo: ACS (2358,56 GJ), lavandería (1777,35 GJ), pérdidas determinadas (993,04 GJ) y esterilización (637,28 GJ). Sin embargo se analizaron todos los subsistemas para la evaluación y propuestas de eficiencia energética.
- El sistema de ACS gasta la mitad de su energía en consumo de agua y aproximadamente la otra mitad en pérdidas de calor por no disponer de aislamiento en las tuberías principales. La corrección de esta situación, permite un importante ahorro energético de 931,50 GJ por año.

- Representan un gran rubro energético, las áreas de lavandería (1777,35 *GJ*), cocina (20,82 *GJ*) y esterilización (637,28 *GJ*), sin embargo no es posible una reducción sustancial del consumo de energía, ya que dependen de los requerimientos del Hospital. Se propondría un cambio por equipos más eficientes al final de la vida útil de estos. Es imprescindible el mantenimiento adecuado del sistema de vapor de estas áreas, particularmente de las ETV.
- En área de piscina el consumo de energía para el año 2013 fue de 422,39 *GJ*, identificando según el principio de 80/20 como potenciales subáreas de mejora los mayores consumidores: la puesta en marcha diaria, las pérdidas por evaporación y las pérdidas por convección. Se propuso el correcto uso de una manta térmica ya instalada en el hospital y el cambio en la hora de alimentación de vapor al sistema. Luego de analizar el subsistema, se redujo el consumo en un 24%, con un consumo calculado de 320,72 *GJ*.
- Se analizó la red de distribución de vapor hacia la piscina, ya que la instalación sin aislamiento fue acoplada posteriormente a la instalación original, se determinó que el vapor circula a velocidades de 86 m/s y la caída de presión mucho mayor a 0,1 bar/50m como valor deseable. Con un correcto dimensionamiento de las tuberías y accesorios, y su apropiado aislamiento, se redujo las pérdidas por aislamiento en 217,77 *GJ*. También fue necesario el dimensionamiento de la tubería de retorno de condensado que permite una recuperación de 38,24 *GJ* por año.
- Las pérdidas de calor en tuberías, accesorios y equipos de vapor son de grandes y mediante la implementación de medidas de EE, los ahorros se traducen en: aislar tuberías y accesorios de vapor no aislados (204,54 *GJ*), aislar tanque de condensado (83,87 *GJ*).
- Los indicadores de EE, sirven para tener una referencia cuantitativa de la eficiencia energética del Hospital y permite comparar la institución con otras de similares características. Se puede ver que el consumo de energía en el

Hospital IESS-Ibarra es reducido en comparación a otros países de los que se dispone datos, esto se debe al clima, que hace innecesario un sistema de calefacción o acondicionamiento de aire. El indicador IET-E1 (MWh / año) pasó de 2404,0 (línea base) a 2113,3 con la implementación de la Alternativa 1, estos valores se hallan sobre los hallados en Chile (1860) para Hospitales públicos entre 100 y 200 camas. Se redujo el indicador a 1656,6 con la Alternativa 2, esta medida da una mejora sustancial.

- El indicador IET-E2 (kWh / m²-año) muestra valores de consumo muy beneficiosos, al hallarse por debajo de los estudios analizados y la reducción es de alrededor del 50% a partir de la línea base con la implementación de la Alternativa 2.
- El indicador IET-E3 (MWh / cama-año), se halla en un valor mucho menor comparado a países desarrollados, y en la línea base indica un consumo mayor a Chile como referencia local. Con la implementación de la Alternativa 2, este índice es equivalente al indicador chileno.
- Los planes de EE tienen un costo aproximado para la Alternativa 1 de 19800 USD, con un periodo de recuperación de 4 años. Y para la Alternativa 2 el costo asciende a 58500 USD aproximadamente, el periodo de recuperación es de 4 años también debido a la reducción sustancial del consumo de energía. La alternativa 2 representa un claro beneficio con un periodo de recuperación similar a la Alternativa 1, pero con la ventaja de lograr un mayor flujo neto positivo a partir del cuarto año. Esto con la ventaja de disminuir la cantidad de emisiones hacia el ambiente y una mejora de los índices de desempeño energético del hospital.

RECOMENDACIONES

- Es importante realizar periódicamente la evaluación de la eficiencia del hospital, basado en el registro de consumos, a fin de conocer el desempeño comparado del sistema térmico, hallar posibles fallos e identificar oportunidades de ahorro. Es necesario conformar un comité encargado de la evaluación de la eficiencia de los sistemas energéticos del Hospital.
- Se debe hacer un plan de mantenimiento de equipos e instalaciones para optimizar el funcionamiento del sistema de vapor e incrementar la seguridad de los trabajadores.
- De acuerdo a la nueva Norma Ecuatoriana de Construcción aún en creación, y a tendencias actuales en el uso de la energía, para ciertas condiciones de funcionamiento de edificios, se vuelve necesario el uso de energías renovables como fuente primaria de energía, a futuro se puede aplicar energía solar térmica de baja o media temperatura para el consumo de ACS y energía solar fotovoltaica como complemento del sistema eléctrico. Obteniendo así beneficios económicos a ser evaluados aún, debido a los subsidios existentes para combustibles y energía eléctrica. Sin embargo esto incorporará mejoras medioambientales en el funcionamiento del Hospital.
- Es necesario controlar la calidad del agua de la caldera y tanque de alimentación para realizar las purgas de forma eficiente.
- Es recomendable dar capacitación al personal involucrado en la operación y mantenimiento del sistema de vapor, para que los trabajos realizados sean eficaces y con criterio técnico.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (2012). Guía de eficiencia energética para establecimientos de salud (GEEESal). Chile.
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (Octubre de 2013). Manual de Gestor Energético - Sector Hospitalario. Chile.
- ASHRAE. (2009). Handbook - Fundamentals. USA: ASHRAE.
- ASHRAE. (2011). Handbook - HVAC Applications. USA: ASHRAE.
- ASME. (2009). PTC4 - 2008 - Fired Steam Generators. USA: ASME.
- ASME. (2010). ASME EA3-2009 Energy Assessment for Steam Systems. USA: ASME.
- ATECYR, IDAE. (2010). Guía técnica de agua caliente sanitaria central. España: IDAE.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). Termodinámica. 7 ed. México: McGraw-Hill.
- Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1997). Maxi Brochure 05. *Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals*. Sittard, Netherlands.
- Crane. (s.f.). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. McGRAW-HILL .
- Eletróbrás. (2005). Eficiência Energética no Uso de Vapor. Rio de Janeiro.
- Ente Regional de Energía de Castilla y León. (2010). Manual técnico de diseño y cálculo de redes de vapor. *Eficiencia energética en redes de vapor*. España.

- González, J. (2014). Thermal systems for indoor pools utilizing heat recovery from exhaust air. Finlandia: Tampere University of Technology.
- Guzmán, O. (2009). Eficiencia energética. Un panorama regional. Buenos Aires: Nueva Sociedad.
- IESS. (5 de Enero de 2015). *www.iesgob.ec*. Obtenido de http://www.iesgob.ec/image/image_gallery?uid=c77220e3-b524-4a9c-8007-74752fe79aac&groupId=10174&t=1397511793066
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall.
- INEN. (s.f.). *Catálogo de documentos normativos vigentes*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS). (s.f.). Eficiencia energética en la generación y distribución de vapor. COLCIENCIAS.
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (2015). Informe de gestión. *IESS Hospital de Ibarra Periodo Enero - Diciembre 2014*. Ibarra, Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (Mayo de 2014). Boletín climatológico anual 2013. Quito: INAMHI.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (Febrero de 2007). Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas. Madrid: IDAE.
- La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). (2010). Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales. Madrid.
- MEER. (s.f.). *Ministerio de Electricidad y Energías Renovables*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de <http://www.energia.gob.ec/el-ministerio/>

- MIDUVI, CCQ. (2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 11: Norma hisrosanitaria NHE agua*. Quito.
- MIDUVI, CCQ. (2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Quito.
- MIDUVI, CCQ. (6 de Abril de 2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Inteconectado del Ecuador - Informe 2013. Quito: ISIS.
- NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. Santiago de Chile: CEPAL.
- Pérez, R. (2012). Validación de los métodos de ensayo de poder calórico, viscosidad Saybolt y contenido de gomas en crudo y sus derivados en el área de petroleos del DPEC. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Pizarro, P. (s.f.). *Plan Médico Funcional IESS Hospital Ibarra 2014: IESS*. Recuperado el 20 de Marzo de 2014, de <http://www.iess.gob.ec/documents/10162/3321612/PMF+IBARRA.pdf>
- Shah, M. (2012). Calculation of evaporation from indoor swimming pools: Further development of formulas. USA: ASHRAE.
- Spirax Sarco. (2007). The Steam and Condensate Loop Book. Spirax Sarco.
- TSI. (2004). Combustion Analysis Basics. USA.
- Unión Europea. (s.f.). *La eficiencia energética: Fichas técnicas sobre la Unión Europea*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de

http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.7.3.html

Vargas, B., Solano, N., Granja, B., & Viscaino, J. (Diciembre de 2011). Manual técnico administrativo - Servicio de emergencia. Ibarra, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social - Hospital Regional 8 Ibarra.

Vera, R. (Enero de 2008). Aplicación metodológica para la determinación del desempeño energético en hospitales de la región metropolitana. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (2012). Guía de eficiencia energética para establecimientos de salud (GEEESal). Chile.

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (Octubre de 2013). Manual de Gestor Energético - Sector Hospitalario. Chile.

ASHRAE. (2009). Handbook - Fundamentals. USA: ASHRAE.

ASHRAE. (2011). Handbook - HVAC Applications. USA: ASHRAE.

ASME. (2009). PTC4 - 2008 - Fired Steam Generators. USA: ASME.

ASME. (2010). ASME EA3-2009 Energy Assessment for Steam Systems. USA: ASME.

AITECYR, IDAE. (2010). Guía técnica de agua caliente sanitaria central. España: IDAE.

- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. 7 ed. México: McGraw-Hill.
- Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1997). Maxi Brochure 05. *Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals*. Sittard, Netherlands.
- Crane. (s.f.). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGRAW-HILL .
- Eletróbrás. (2005). *Eficiência Energética no Uso de Vapor*. Rio de Janeiro.
- Ente Regional de Energía de Castilla y León. (2010). Manual técnico de diseño y cálculo de redes de vapor. *Eficiencia energética en redes de vapor*. España.
- González, J. (2014). *Thermal systems for indoor pools utilizing heat recovery from exhaust air*. Finlandia: Tampere University of Technology.
- Guzmán, O. (2009). *Eficiencia energética. Un panorama regional*. Buenos Aires: Nueva Sociedad.
- IESS. (5 de Enero de 2015). www.iess.gob.ec. Obtenido de http://www.iess.gob.ec/image/image_gallery?uuid=c77220e3-b524-4a9c-8007-74752fe79aac&groupId=10174&t=1397511793066
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. 4 ed. México: Prentice Hall.
- INEN. (s.f.). *Catálogo de documentos normativos vigentes*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS). (s.f.). *Eficiencia energética en la generación y distribución de vapor*. COLCIENCIAS.
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (2015). Informe de gestión. *IESS Hospital de Ibarra Periodo Enero - Diciembre 2014*. Ibarra, Ecuador.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (Mayo de 2014). Boletín climatológico anual 2013. Quito: INAMHI.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (Febrero de 2007). Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas. Madrid: IDAE.
- La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM). (2010). Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales. Madrid.
- MEER. (s.f.). *Ministerio de Electricidad y Energías Renovables*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de <http://www.energia.gob.ec/el-ministerio/>
- MIDUVI, CCQ. (2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 11: Norma hisrosanitaria NHE agua*. Quito.
- MIDUVI, CCQ. (2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Quito.
- MIDUVI, CCQ. (6 de Abril de 2011). Norma ecuatoriana de construcción NEC-11. *Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador - Informe 2013. Quito: ISIS.
- NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. Santiago de Chile: CEPAL.
- Pérez, R. (2012). Validación de los métodos de ensayo de poder calórico, viscosidad Saybolt y contenido de gomas en crudo y sus derivados en el área de petróleo del DPEC. Quito: Universidad Central del Ecuador.

- Pizarro, P. (s.f.). *Plan Médico Funcional IESS Hospital Ibarra 2014: IESS*. Recuperado el 20 de Marzo de 2014, de <http://www.iess.gob.ec/documents/10162/3321612/PMF+IBARRA.pdf>
- Shah, M. (2012). Calculation of evaporation from indoor swimming pools: Further development of formulas. USA: ASHRAE.
- Spirax Sarco. (2007). The Steam and Condensate Loop Book. Spirax Sarco.
- TSI. (2004). Combustion Analysis Basics. USA.
- Unión Europea. (s.f.). *La eficiencia energética: Fichas técnicas sobre la Unión Europea*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.3.html
- Vargas, B., Solano, N., Granja, B., & Viscaino, J. (Diciembre de 2011). Manual técnico administrativo - Servicio de emergencia. Ibarra, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social - Hospital Regional 8 Ibarra.
- Vera, R. (Enero de 2008). Aplicación metodológica para la determinación del desempeño energético en hospitales de la región metropolitana. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

ANEXOS