



UNIVERSIDAD CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ

**ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN,
DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE VAPOR DEL HOSPITAL
GENERAL DEL SUR PEDRO ITURBE, MARACAIBO, ESTADO
ZULIA**

TESIS EN OPCIÓN AL GRADO MASTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: ING. MARILENIS GOMEZ

TUTORES: DR. MARIO ALVAREZ GUERRA PLASENCIA

DRA. MARGARITA LAPIDO RODRIGUEZ

Cabimas, Venezuela, 2012

AGRADECIMIENTOS

DA GRACIAS PORQUE ESA ES LA VOLUNTAD DEL SEÑOR POR TANTO:

AGRADEZCO A DIOS POR REGALARME LA BENDICIÓN DE ALCANZAR OTRA META.

A MIS PADRES (JUAN Y CENAIRA) POR APOYARME SIEMPRE.

A MIS ABUELOS (ANTONIO Y MARCELA) POR SER TAN ESPECIALES.

A MIS HERMANAS Y HERMANOS POR ESTAR SIEMPRE CUANDO NECESITO SU APOYO.

A MIS SOBRINOS POR REGALARME ALEGRÍA.

A MIS PASTORES POR SU APOYO Y ORACIONES.

A MIS AMIGAS GRIZVEL, YELITZA E IRELIS POR SU VALIOSO APOYO

A LA FAMILIA VILLALOBOS MORAN POR TODO SU APOYO Y AFECTO.

AL DR. MARIO ÁLVAREZ Y DRA. MARGARITA LAPIDO, POR SU IMPORTANTE APOYO Y SER FACILITADORES, TENIENDO DEDICACIÓN Y UNA ORIENTACIÓN OPORTUNA EN TODAS LAS ASIGNATURAS Y POR BRINDARME DIRECCIÓN PARA DESARROLLAR ESTA TESIS.

A MIS PROFESORES DR. FÉLIX GONZÁLEZ PÉREZ, , DR. SERGIO MONTELIER, DR. JUAN CARLOS ARMAS, DR. JUAN FRANCISCO PUERTA, DR. ARTURO PADRÓN, DR. LEONEL MARTÍNEZ, M.SC. GABRIEL CASTILLO, DR. PERCY VIEGO, DR. JULIO GÓMEZ, POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS PARA FORMARME COMO PROFESIONAL EXITOSA.

AL CONVENIO CUBA – VENEZUELA POR SER UN EXCELENTE MEDIO PARA FORJAR PROFESIONALES A LA ALTURA DE LAS EXIGENCIAS DE PAÍS.

A TODOS MIS FAMILIARES, AMIGOS Y DEMÁS PERSONAS QUE DE ALGUNA U OTRA MANERA CONTRIBUYERON A QUE LLEGARA HASTA AQUÍ. A TODOS USTEDES,

¡GRACIAS!

MARILENIS GOMEZ

DEDICATORIA

**AL DIOS TODO PODEROSO POR SER MI GUÍA Y FORTALEZA MI FUENTE DE
ADMIRACIÓN.**

**A MIS PADRES, TODO MI AMOR, SON EL MEJOR REGALO Q DIOS ME OTORGO,
SON ÚNICOS.**

A MI HERMANA MARIEMMA POR APOYARME EN ESTE LOGRO.

MI QUERIDA, APRECIADA Y BELLA HERMANA MAYOR. YELITZA DIAZ.

MIS ABUELOS QUE SON UN TESORO.

MI TÍO RAÚL GUTIÉRREZ, QUIEN ME MOTIVO PARA SEGUIR ESTE TRABAJO.

A TODOS MIS HERMANOS “LUZ QUE RESPLANDECE”.

TODA MI FAMILIA BELLA Y HERMOSA QUE AMO, COMPARTO MI LOGRO.

A MI AMIGA NEXIS REYES POR SUS PALABRAS PARA AVANZAR.

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS NILL HERNANDEZ ING. FERNANDA MÉNDEZ,
ING. JULIETTE VERA, ING. LUZ HERNÁNDEZ, ING. ERNESTO PIÑA, ING.
MARCOS LÓPEZ, ING. JOSSELY VILCHEZ, LIC. YULETZI CUBILLAN, ING.
HÉCTOR DÍAZ, LIC. CENaida DUNO, LIC. GEISHel DURÁN, ING. NORVÝS
GONZÁLEZ, ING. JUAN CARLOS GUTIÉRREZ, LIC. ANA PATRICIA OCHOA, ING.
LEIGNIZ PÉREZ, ING. YVONNE VICKY RINCÓN, ING. NIK NELSON TELLES Y ING.
BERMÚDEZ MERVÍN, PORQUE OCUPAN UN LUGAR ESPECIAL EN MÍ VIDA Y HAN
COMPARTIDO MOMENTOS BUENOS Y MALOS A LO LARGO DE ESTA CARRERA
Y SÉ QUE JUNTO A MÍ DISFRUTARÁN ESTE LOGRO.**

A TODOS LOS QUE CONFIARON EN QUE ALCANZARÍA ESTE TRIUNFO.

MARILENIS GOMEZ

SÍNTESIS

En el presente trabajo se realiza un estudio de la situación energética del sistema de generación, distribución y consumo de vapor del Centro de Salud Hospital General del Sur Pedro Iturbe, Maracaibo. A través de diferentes técnicas de investigación se obtiene una caracterización del parque tecnológico existente, condiciones de explotación, aprovechamiento de la capacidad instalada, eficiencia térmica e impacto ambiental. Se analizan las principales pérdidas energéticas presentes, su dependencia de diferentes factores tecnológicos y operacionales como las principales oportunidades de ahorro y uso racional de la energía pertinentes a este tipo de instalaciones. Por último se propone un programa de ahorro y uso racional de la energía para la explotación de este sistema.

ÍNDICE

INDICE GENERAL

	PAG
Introducción.	1
Antecedentes	1
Hipótesis de la investigación	1
Objetivo general.	2
Objetivos específicos	2
Capítulo I Análisis bibliográfico. Caracterización del estado del arte	4
1.1. Valoración del contexto internacional, nacional y local de la situación energética de centros de salud.	4
1.2. Energía eléctrica	4
1.3. combustible	5
1.4. Generalidades de los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor en centros de salud en Venezuela.	6
1.5. Tendencias actuales en el desarrollo de los generadores de vapor.	8
1.6. Situación en Venezuela	9
1.7.1 Indicador de eficiencia energética	13
1.7.2 Indicadores termodinámicos	13
1.7.3 Indicadores físico-termodinámicos	14
1.7.4 Indicadores económico-termodinámicos	14
1.7.5 Indicadores de magnitudes físicas	14
1.8 Oportunidades de ahorro en sistemas producción, distribución y uso del vapor en el sector de la salud.	15
1.8.1. Regular el exceso de aire	
1.8.2 Remplazar quemadores on-off por quemadores modulantes	16
1.8.3 Reducir la presión del vapor	17
1.8.4 Reducción de la formación de depósitos	17
1.8.5 Recuperar condensados	19
1.8.6 Uso del condensador de vapor por contacto	19
1.8.7 Usar vapor flash	20
1.8.8 Reducción de fugas de vapor	21
1.8.9 Mantenimiento de trampas de vapor	21
1.8.10 Mejorar el aislamiento	23

1.9 Conclusiones parciales del capítulo	25
Capítulo II. Estudio energético del sistema de generación, distribución y consumo de vapor en el Hospital General del Sur Pedro Iturbe	26
2.1 Reseña histórica del Hospital	26
2.2 Descripción de los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor	27
2.2.1. Unidad de producción de vapor (sala de calderas)	28
2.2.2. Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado	30
2.2.3. Unidad de utilización de vapor en cocinas	30
2.2.4. Unidad de utilización de vapor en lavandería	30
2.2.5. Unidad de utilización de vapor en laboratorio y central de suministro	31
2.3 Diagnóstico energético	31
2.3.1 Diagnóstico energético de los generadores de vapor.	31
2.3.1 Balance Térmico Generador de Vapor 1	38
2.3.2 Balance Térmico Generador de Vapor 2	37
2.4 Identificación de las oportunidades de ahorro y uso racional de la energía	39
2.5 Conclusiones parciales del capítulo	40
Capítulo III. Propuesta de programa de ahorro energético y uso racional de la energía	41
3.1 Proyectos de mejoras	41
3.1.1 Proyecto de mejora: Ajuste de la combustión de los generadores de vapor.	42
3.1.1.1 Cálculos técnicos	42
3.1.1.2 Evaluación económica.	42
3.1.2 Proyecto de mejora: Sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado.	42
3.1.2.1 Cálculos técnicos	43
3.3 Conclusiones parciales del capítulo	43
Conclusiones Generales	45

Recomendaciones	46
Bibliografía	48
Anexos	

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes del Problema

La situación energética del país resulta necesario investigar con qué eficiencia se realizan las actividades de servicios. Especialmente en el momento actual, el ahorro de los recursos energéticos es un concepto muy importante en cualquier industria o unidad de servicios. Los hospitales, instituciones que trabajan de forma continua (24 horas al día los 365 días del año) son grandes consumidores de energía; ellos dedican hasta el 75% del total de combustibles para su transformación en energía térmica (Gálvez, 2001).

Esto es aplicable al caso de las instalaciones de vapor ya que el trabajo de estos sistemas en un centro de salud es primordial, constituye un área crítica que es necesario mantener para asegurar el servicio, donde la eficiencia del sistema termoenergético depende en gran medida de la operación y mantenimiento proporcionados.

Los sistemas energéticos de los centros de salud funcionan a base de vapor producido por calderas pirotubulares. En los hospitales de Venezuela estos sistemas han sufrido con el paso del tiempo un considerable deterioro que ha llevado a la salida de servicio de numerosas unidades de generación de las originalmente instaladas y a una afectación considerable de la eficiencia energética general de la instalación y por consiguiente la economía de las entidades, por cuanto se refleja esta situación en el costo final de producción del vapor.

Por otro lado en la operación de estos sistemas se producen continuamente arranques y paradas del quemador, con las consiguientes pérdidas por incombustión presentes en los momentos iniciales. Se produce aumento de las pérdidas con los gases de escape y de ventilación debido al barrido de los ventiladores al inicio y final de cada parada, con el consiguiente enfriamiento del horno. Igualmente ocurre aumento de las pérdidas por radiación, presentes en todo momento del funcionamiento de la caldera, como también en los momentos en que se encuentra apagado el quemador. Todo esto trae un

sobreconsumo de combustible, energía eléctrica, y por tanto pérdidas económicas.

Formulación del Problema

Los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor constituyen un área crítica en la gestión del centro de salud **Hospital General del Sur Pedro Iturbe**. Sin embargo, no se dispone de estudios acerca de su comportamiento energético ni se han implementado políticas acerca del uso racional y eficiente de la energía en los mismos.

Objetivo General

Evaluar la eficiencia energética del sistema de generación, distribución y consumo de vapor del hospital y proponer un de ahorro energético y uso racional de la energía para el mismo.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor en el Centro de Salud Hospital General del Sur Pedro Iturbe, Maracaibo.
2. Identificar oportunidades de ahorro en el sistema de producción, distribución y uso del vapor, a partir de los resultados del diagnóstico energético.
3. Elaborar propuesta de programa de ahorro energético y uso racional de la energía

Hipótesis

Utilizando las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) es posible completar el estudio energético de los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor del Centro de Salud Hospital General del Sur Pedro Iturbe, Maracaibo.

Población y Muestra

Para alcanzar los objetivos propuestos se estudia el centro de salud adscrito al Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) Centro de Salud Hospital General del Sur Pedro Iturbe, localizado en Maracaibo, Estado Zulia,

Viabilidad

El trabajo se realizará mediante la toma de datos reales de trabajo en las calderas pirotubulares instaladas en el hospital, que se encuentran registradas y tienen relación con las inspecciones realizadas por la Empresa de Calderas ALASTOR, a través del Convenio Cuba - Venezuela.

CAPITULO I

CAPÍTULO I. Estado del arte

1.1 Valoración del contexto internacional, nacional y local de la situación energética de centros de salud.

Los establecimientos de salud se pueden definir como cualquier lugar, sitio o instalación donde se llevan a cabo actividades relacionadas con la salud humana o animal.

Las instalaciones de un hospital están básicamente constituidas por las siguientes áreas principales:

1. Área de Atención 1: Oficinas administrativas, pabellón de pacientes internos
2. Área de Atención 2: Consultorios externos
3. Área de Servicios Comunes: Lavandería y cocina
4. Área de Servicios Auxiliares: Sala de calderas y zona de mantenimiento.

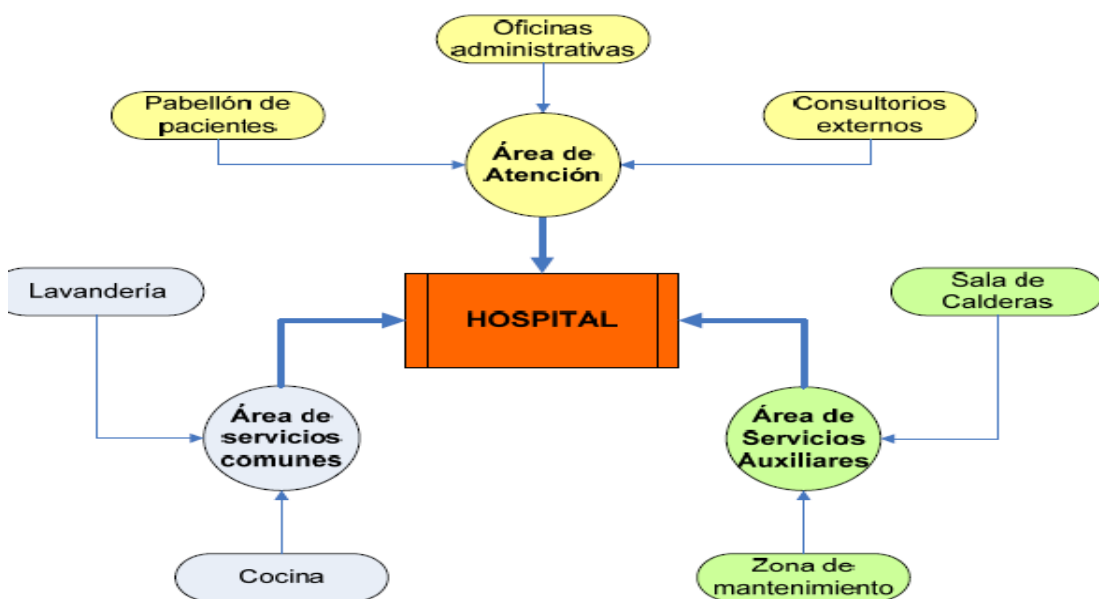


Fig. Áreas de servicio en un hospital. CENERGIA- 2008

Un centro de salud posee sistemas diversos que son responsables de consumos considerables de portadores energéticos que incluyen la electricidad, vapor, agua y combustibles (gas, gasoil, diesel, etc.).

Los consumos energéticos de un centro sanitario varían mucho con la antigüedad del mismo, con la complejidad de los equipos e instalaciones así como el tamaño del centro de salud.

En general se encuentra en estas instalaciones un exceso de consumo energético debido, entre otros factores, al diseño incorrecto de las instalaciones, inexistencia de control, aislamiento insuficiente, poco o ningún mantenimiento, poca capacitación de los operarios y una cultura poco eficiente del uso del sistema de generación de vapor.

1.2 Energía Eléctrica

Los principales equipos consumidores de energía eléctrica en los hospitales son los siguientes:

- Motores eléctricos (electrobombas, ascensores, compresoras, ventiladores, extractores, lavadoras, secadoras, calandrias, entre otros)
- Lámparas de iluminación (fluorescentes, incandescentes, de descarga, etc)
- Calentadores de agua (termos, duchas, hervidores, etc)
- Hornos eléctricos
- Cocinas eléctricas
- Equipos de frío (aires acondicionados y refrigeradoras)
- Esterilizadores
- Equipos electromédicos (rayos X, tomógrafos, etc)

1.3 Combustibles

Los combustibles mayormente utilizados en los hospitales son los siguientes:

- Gas natural
- GLP
- Diesel

- Petróleo Industrial

Asimismo, los principales equipos consumidores de combustible son los siguientes:

- Calderas
- Incineradores
- Marmitas
- Calandrias
- Grupos electrógenos
- Autoclaves

1.4 Situación de los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor en el sector de la salud

Entre los principales componentes de un sistema de generación y distribución de vapor pueden mencionarse:

1. Generador de vapor (caldera) y sus auxiliares.
2. Tuberías de vapor.
3. Válvulas de regulación.
4. Equipos consumidores.
 - Motores primarios: máquinas de vapor, turbinas.
 - Equipos de proceso: intercambiadores de calor, evaporadores, secadores, reactores, etc.
5. Trampas de vapor, sellos barométricos.
6. Sistema de condensado: tuberías, tanques, bombas.
7. Sistema de agua de alimentación: tanques, bombas, calentadores.
8. Sistema de tratamiento de agua.

9. Instrumentación y sistemas de control

Las calderas pirotubulares instaladas en el sector de la salud consumen diferentes combustibles. La circulación en el interior de estas calderas se produce de manera natural. El agua fría desciende de la parte superior por la pared del cilindro y una vez que llega a la parte inferior del casco sube por entre los tubos de humo, absorbiendo calor para la formación del vapor, el cual se acumula en la parte superior. El rango superior de trabajo de estas calderas oscila hasta capacidades 600 a 4000 kg/h y presiones de hasta 0,1 MPa, y poseen una amplia difusión en este intervalo de trabajo dada una serie de ventajas que se analizan en la literatura y en los manuales de los fabricantes de este tipo de caldera.

Para el suministro de vapor se emplean, generalmente, grandes redes de tuberías, por lo que su correcta selección y control de presiones establecidas juegan un papel importante en los costos de generación y transporte de éste fluido. La tubería de vapor difiere de otros sistemas porque generalmente transporta dos fluidos: vapor y agua. Por esta razón el diseño, los cálculos ingenieriles y la proyección de las tuberías de vapor requieren una consideración especial.

El transporte del fluido se hace normalmente por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, y luego desde éste hasta la caldera pero con un menor contenido energético. En el caso del sector de la salud se utiliza generalmente para tareas tales como:

- Esterilización.
- Lavanderías.
- Planchadoras.
- Secadoras.
- Laboratorio.

1.5 Tendencias actuales en el desarrollo de los generadores de vapor.

Los dos equipos de combustión de mayor uso en las instalaciones de un hospital son calderas de vapor y de agua caliente. Estas son usadas para transferir energía de un combustible a un fluido que transporta calor a diferentes temperaturas, ya sea para proceso o calentamiento en diferentes formas.

La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable, que según el estado de la tecnología en Latinoamérica y del tipo de combustible usado, es más o menos la siguiente (calderas de vapor):

- Calderas pirotubulares estándar de 3 pasos (745.99 kW) : 80 – 83 %
- Calderas acuotubulares sin recuperador de calor (745.99 kW) : 78 – 80%

En la actualidad los generadores de vapor han ido un paso adelante con relación a sus antiguos predecesores, sus regulaciones funcionales varían dependiendo al sector en que se vayan a utilizar, en este caso en los generadores de vapor pirotubulares se manifiestan las siguientes tendencias:

- Eficiencia (mantenida a cargas parciales).
- Confiabilidad.
- Costo.
- Impacto ambiental.
- Flexibilidad de combustibles.
- Parámetros de Vapor: Presión: hasta 0,1 MPa
- Temperatura: Saturado hasta 372.6K
- Reducción del período entre proyecto y puesta en marcha.
- Calderas compactas ensambladas en fábrica (combustible líquido o gaseoso) con capacidad hasta 20000-25000 kg/h

- Calderas pre-ensambladas (componentes modulares).
- Mayor empleo de superficies recuperativas.
- Quemadores de bajo NO₂.

1.6 Situación en Venezuela

En Venezuela el órgano rector y planificador de la administración pública nacional de la salud, así como de la regulación, coordinación, seguimiento y fiscalización de los servicios estatales, municipales y privados es el Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS). El país está constituido por 23 estados, los que poseen un rango mínimo de dos y máximo de veinte hospitales por cada estado. La antigüedad promedio de estas instalaciones oscila entre los 15 y 40 años de construcción.

En la siguiente tabla se presenta una clasificación de los hospitales, según la cantidad de población y sus respectivas camas:

Tabla 1.1 Clasificación de hospitales, según el Decreto N° 1798 (Gaceta Oficial, 1983).

Hospitales	s/población	s/camas
Tipo I	<20.000 hab.	20-60
Tipo II	20-60.000 hab.	60-150
Tipo III	60-100.000 hab.	150-300
Tipo IV	>100.000 hab.	>300

Los hospitales del país en su mayoría poseen calderas pirotubulares y el uso final de dicho vapor es para servicios como cocina, lavandería y esterilización.

En cualquier país del mundo la salud es una prioridad debido al beneficio que produce para la población el buen servicio que prestan los centros de salud,

por tal razón en Venezuela existen una gran cantidad de centros asistenciales clasificados según su función y atención al paciente, para el estudio se toma una muestra de 12 salas de calderas que están en funcionamiento con equipos de diferentes capacidades de producción de vapor según los consumidores instalados.

En la tabla que se muestra a continuación las salas de calderas según su nombre y las funciones que realizan:

Tabla 2.1.1 Caracterización del consumo de vapor

No	CENTRO	COCINA	LAVANDERÍA	OTROS
1	Hospital Unidad de Larga Estancia (ULE). Edo Mérida	x	x	
2	Hospital San José de Tovar. Edo Mérida. Venezuela	x	x	
3	Hospital Luís Razetti. Edo. Barinas.	x	x	x
4	Hospital Pedro Rafael Figallo Ciudad Río Caribe Edo. Sucre.	x	x	x
5	Hospital Luís Beauperthuy. Cumanacoa. Estado Sucre.	x	x	x
6	Hospital Luís Razetti. Edo. Delta Amacuro	x	x	x
7	Hospital Niños Excepcionales. Catia la Mar. Estado Vargas.	x	x	
8	Hospital Militar Dr. Vicente Salías. Edo Distrito Capital.	x	x	x
9	Hospital General de Higuero. Edo Miranda	x	x	x
10	Hospital Egidio Montesinos Edo Lara. Ciudad: El Tocuyo	x	x	x

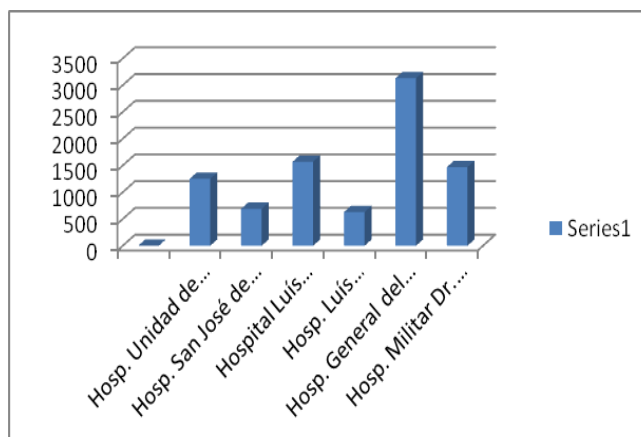
11	Hospital Dr. Adolfo D'Empaire, Edo Zulia. Ciudad: Cabimas	x	x	x
12	Hospital General del Sur. Dr. Pedro Iturbe Edo Zulia. Ciudad: Maracaibo	x	x	x

En la siguiente tabla se muestra los diferentes centros, con los generadores que poseen y que están funcionando, con su respectiva capacidad nominal.

Tabla 2.1.2 Potencial de generación de vapor existentes y funcionando con su capacidad nominal.

No.	CENTRO	EXISTENCIA	EN FUNCION	CAPACIDAD NOMINAL (kg/H)
1	Hospital Unidad de Larga Estancia (ULE). Edo Mérida.	2	1	1251 1251
2	Hospital San José de Tovar. Edo Mérida.	2	1	690 690
3	Hospital Luís Razetti. Edo. Barinas.	2	1	1570 1570
4	Hospital. Pedro Rafael Figallo Ciudad Río Caribe Edo. Sucre.	2	0	3802,03 3802,03
5	Hospital Luís Beauperthuy. Cumanacoa. Estado Sucre.	2	1	937.7 aprox. 629
6	Hospital Luís Razetti. Edo. Delta Amacuro.	2	0	4562,44
7	Hospital Niños Excepcionales. Catia la Mar. Estado Vargas.	2	0	525 750
8	Hospital Militar Dr. Vicente Salías. Edo Distrito Capital.	2	1	1470 1740
9	Hospital General de Higuerote. Edo Miranda	2	1	1035
10	Hospital Egidio Montesinos Edo Lara. Ciudad: El Tocuyo	2	0	950 950

11	Hospital Dr. Adolfo D'Empaire, Edo Zulia. Ciudad: Cabimas	2	1	1750 1750
12	Hospital General del Sur. Dr. Pedro Iturbe Edo Zulia. Ciudad: Maracaibo	2	1	3130 953,96



Grafica 2.1. Capacidad nominal de muestra hospitales en Venezuela

El potencial total de producción nominal de vapor es de 11525 kg/h, y el promedio es de 1440,625 kg/h. Las producciones de vapor oscilan en el rango desde 629 kg/h las más pequeñas hasta 3130 kg/h las de mayor capacidad, esto representa las capacidades más comúnmente presentes en la generalidad de los centros de salud en su prestación de servicios.

En sentido general de las 12 salas de calderas estudiadas y que están en funcionamiento, tienen dentro de su objetivo suministrar vapor para la cocción de alimentos o preparación de los mismos, todas tienen incorporada una lavandería y 9 ofertan otro tipo de servicio como la esterilización.

En la mayoría de los casos las salas de calderas cuentan con dos de estos equipos con similitud en su capacidad de producción de vapor, con consumo en áreas similares que varían según la cantidad de camas ocupadas en el mismo. Cada caldera instalada en cada centro es capaz, por si misma, de suplir las necesidades de la demanda de vapor por parte de las áreas de consumo

1.7 Indicadores de eficiencia de los generadores de vapor.

Este parámetro está íntimamente relacionado con la competitividad, seguridad y el cuidado del medio ambiente, y toma mayor relevancia en los momentos actuales en los que se habla de crisis energética y peligros para la supervivencia de la humanidad producto de la contaminación ambiental.

1.7.1 Indicador de eficiencia energética

Eficiencia energética = Energía útil de salida/ Energía de entrada al proceso.

Para monitorear los cambios de la eficiencia energética se emplean diversos indicadores.

1.7.2 Indicadores termodinámicos

Emplean los elementos de la termodinámica y pueden llegar a ser tan sofisticadas que relacionan la energía actual con la energía empleada en un proceso ideal. Se calculan en términos de funciones de estado y están en un contexto particular del medio, no vinculadas a parámetros del consumidor o con el producto de salida.

- **Rendimiento térmico.**

Valora el aprovechamiento de la energía de entrada o calor disponible en función del calor útil entregado al vapor a agua caliente, es utilizado como parámetro de comparación en calderas y no tiene en cuenta la calidad de la energía, ni la influencia de factores económicos.

- **Rendimiento energético.**

En función de la Segunda Ley de la Termodinámica, tiene en cuenta la variación en la calidad de la energía, tanto en la corriente de salida como en la de entrada.

- **Rendimiento instantáneo.**

Representa el aprovechamiento de la energía de entrada para un intervalo de tiempo dado para el cual se hizo la prueba de balance. Da un criterio rápido para un determinado momento, pero no refleja las variaciones de los parámetros de la caldera en el tiempo.

- **Rendimiento estacional.**

Representa la relación entre la cantidad anual de calor útil y la cantidad de calor generado, permite evaluar la caldera en un período de tiempo.

1.7.3 Indicadores físico-termodinámicos

Las mediciones de entrada son unidades termodinámicas, pero la energía de salida es medida en unidades físicas que están relacionadas con el proceso o parámetros de salida. Son los que mejor reflejan las variaciones técnicas y económicas.

1.7.4 Indicadores económico-termodinámicos

Es un híbrido donde la energía de entrada es medida en unidades termodinámicas o indicadores físico-termodinámicos y la energía de salida en valores monetarios.

Algunos de los indicadores que representan la eficiencia de la caldera en términos económicos son:

- Costo de producción del vapor.

$CPV = \text{Costo de producción (\$)} / \text{Producción de vapor (ton)}$

Permite evaluar la influencia que tiene la eficiencia de la caldera en la producción del vapor, tomando en cuenta los costos asociados a su obtención. Es sensible a las variaciones en el factor de carga.

- Costo de producción de energía.

$CPE = \text{Costo de producción (\$)} / \text{energía del vapor (kW-h)}$

Considera parámetros termodinámicos y no unidades físicas, además no evalúa los cambios de calidad.

- Costo de la exergía.

$CPEx = \text{Costo de producción (\$)} / \text{exergía del vapor (kW-h)}$

Tiene la posibilidad de evaluar las variaciones en la calidad de la energía.

1.7.5 Indicadores de magnitudes físicas

Dentro de estos encontramos: la razón de evaporación, el factor de capacidad y el factor de carga. Ellos nos permiten conocer el grado de utilización de la capacidad de la caldera, pero no tienen en cuenta variaciones importantes en

la eficiencia que pueden no ser reflejadas en algunos indicadores como es el caso del ensuciamiento en los factores de carga y de capacidad. Su uso permite dar valoraciones rápidas y con su control sistemático se pueden detectar cambios importantes en el funcionamiento de la caldera.

1.8 Oportunidades de ahorro en sistemas de producción, distribución y uso del vapor en el sector de la salud

En un sistema conjunto de generación–distribución, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como el 30% de la energía aportada al sistema por el combustible en la caldera (sistemas de vapor), en lugar del 70% como podría ser un sistema optimizado.

Existe un gran número de técnicas para incrementar la eficiencia en sistemas de vapor y agua caliente, desde la etapa de generación de vapor en calderas hasta el consumo en los usuarios, lo que implica reducir el consumo de combustible para generar la misma cantidad de vapor o calentar la misma masa de agua; obteniendo por lo tanto un costo mínimo de producción de calor en la planta y menores emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (SO₂, NO_x, CO).

A continuación se describen las técnicas de ahorro que serían más aplicables a los sistemas de vapor en los hospitales algunos de los cuales son también aplicables en los sistemas de agua caliente.

1.8.1. Regular el exceso de aire

El control del exceso de aire es una de las técnicas más efectivas para mejorar la eficiencia de una caldera con inversiones que pueden ser entre bajas y moderadas, dependiendo del sistema de control que se adopte.

Consiste en regular los flujos de aire (mediante la apertura del “damper” del ventilador) y combustible (mediante la válvula de ingreso al quemador) de tal

manera que se mantenga una relación aire-combustible que logre un mínimo de exceso de aire (reflejado por la concentración de Oxígeno – O₂ en chimenea) a la potencia del quemador que se trabaje, y con una mínima producción de inquemados (básicamente hollín y monóxido de carbono – CO).

El nivel mínimo de exceso de aire a emplear depende del combustible usado y del tipo de quemador disponible.

1.9.2 Reemplazar quemadores on-off por quemadores modulantes

El remplazo de los sistemas de regulación on – off de la potencia del quemador por sistemas que modulan la potencia de acuerdo a la carga de la caldera, permiten no sólo reducir las altas temperaturas del gas, sino también las pérdidas de calor que se dan en el lapso de stand-by, así como las pérdidas de calor asociadas con la purga de gases calientes de la caldera antes y después de cada ciclo de fuego, las cuales podrían eliminarse al tener menor frecuencia de apagado del quemador.

El cambio de sistema de regulación puede permitir incrementar la eficiencia de una caldera con sistemas on-off desde un 75% a un 77% trabajando con sistema modulante.

La inversión requerida puede ser cuantiosa, lo cual debe ser analizado tomando en cuenta las horas de operación de la caldera y el consumo de combustible.

1.9.3 Reducir la presión del vapor

En términos generales a medida que la presión del vapor en una caldera se incrementa, también aumentan las pérdidas de energía debido a las altas temperaturas del gas de chimenea, mayores fugas de vapor, pérdidas de calor a través de las paredes en la caldera y tuberías de distribución y mayores pérdidas de vapor a través de trampas.

Considerando ello, a veces es posible reducir la presión de vapor a un nivel compatible con las necesidades de temperatura del usuario y con el diseño de las instalaciones de distribución de vapor, lo cual debe ser cuidadosamente estudiado. Si bien se pueden conseguir ahorros al reducir la presión del vapor, o mejorar el rendimiento de la caldera, pueden surgir otros problemas si la reducción es excesiva, tales como los que se enumeran a continuación:

- ✓ Incremento del arrastre de humedad en la caldera.
- ✓ Como el volumen específico del vapor (m^3/kg) se incrementa al reducir la presión, entonces pueden darse excesivas velocidades en las tuberías existentes.
- ✓ Funcionamiento inadecuado de trampas y algunos instrumentos sensibles a la temperatura.
- ✓ Menor transferencia de calor en los equipos usuarios de vapor.
- ✓ Pérdida de rendimiento en equipos accionados por vapor.

1.9.4 Reducción de la formación de depósitos

En una caldera pueden formarse depósitos tanto en el lado del agua como en el lado de los gases. En el primer caso los depósitos se forman por causa de un mal tratamiento del agua de alimentación a caldera, principalmente por un mal ablandamiento, es decir que el agua de aporte contiene todavía sales de Calcio y Magnesio que no fueron previamente removidas en su totalidad en los equipos de ablandamiento, depositándose en los tubos por efecto del calor.

Una calidad pobre del agua afecta la performance de la caldera de dos maneras:

- ✓ Se requiere una mayor purga dando como resultado mayores pérdidas de calor.
- ✓ Los depósitos de sales (caliche) en los tubos, constituye una barrera a la transferencia de calor gases-agua, que provoca no sólo la elevación de la temperatura de los gases de chimenea, con la consiguiente pérdida

de calor; sino también recalentamiento de tubos y posible falla de los mismos.

En el lado de los gases los depósitos de hollín se originan por una mala combustión del combustible, debido a una pobre mezcla aire-combustible o por defecto de aire. Cuando el hollín se deposita en los tubos, también actúa como una capa de aislamiento que reduce la transferencia de calor gases-agua.

El resultado global es que los gases salen de la caldera con alta temperatura y la eficiencia de la unidad se reduce, por no haberse aprovechado todo el calor de los gases.

Es fácil darse cuenta cuándo una caldera manifiesta ensuciamiento de tubos, simplemente por elevación de la temperatura de gases de chimenea. Para calderas pirotubulares de 3 pasos (con exceso de aire normal), una temperatura por encima de 220°C en llama alta, ya es un indicio de que se están produciendo depósitos en los tubos. Temperaturas de 350°C o más significa grave ensuciamiento y riesgos de daños para los tubos y placas de la caldera, por recalentamiento y excesiva dilatación.

1.9.5 Recuperar condensados

La recuperación de condensados implica un ahorro de combustible en la caldera y menores costos de generación de vapor por las siguientes razones:

1. El condensado normalmente retorna a una temperatura de 70 a 90 °C, lo cual significa que contiene una cantidad de calor que sino es aprovechada, tienen que ser aportada por el combustible para calentar el agua de alimentación hasta la misma temperatura.

2. Si el condensado (que es esencialmente agua pura) se pierde; el agua de alimentación tiene que ser tratada, lo cual implica mayores gastos operativos por el tratamiento y el costo del agua misma.
3. El agua de alimentación que reemplaza a un condensado no aprovechado contiene impurezas que incrementan el régimen de purga y las pérdidas de calor asociados a dicha purga.

Un factor adicional que favorece la recuperación de condensados es la protección del ambiente, ya que la descarga de fluidos calientes tiene un impacto negativo en los cuerpos receptores (ríos, lagos, etc.)

- 2 Uso del condensador de vapor por contacto
- 3 Usar vapor flash
- 4 Reducción de fugas de vapor
- 5 Mantenimiento de trampas de vapor
- 6 Mejorar el aislamiento térmico

1.8.6 Uso del condensador de vapor por contacto

El condensador de vapor es un equipo que se utiliza para obtener agua caliente aprovechando los vapores residuales de baja, enfriándolos usualmente con agua fría.

En esencia está formado por un depósito cilíndrico vertical, con varias entradas y salidas:

- Entrada de agua refrigerante.
- Entrada vapor de baja presión.
- Salida de agua condensada.
- Salida de incondensables.

En los condensadores de contacto el vapor de baja presión se pone en contacto con agua más fría, de tal forma que el vapor condensa y transfiere su calor latente al líquido, el cual eleva su temperatura.

El diseño de un condensador de vapor debe seguirse una serie de criterios que conducen a:

- Evitar demasiadas caídas de presión.
- Evitar arrastres de gotas de agua.
- Eliminar bolsas de aire.
- Utilizar agua tratada para evitar incrustaciones.

1.8.7. Usar vapor flash

Son muchas las plantas que utilizan grandes cantidades de vapor a distintos niveles de presión y no tienen en cuenta para nada el vapor de flash de los condensados.

El vapor flash ó revaporizado es un vapor con las mismas características que un vapor vivo y se forma cuando un condensado pasa de una presión a otra inferior. Parte de este condensado se convertirá en vapor a la misma temperatura que corresponda a la presión inferior.

La cantidad de vapor flash obtenida será igual al exceso de calor latente del vapor a la presión inferior. El exceso de calor será la diferencia entre el calor sensible del condensado a la presión superior y el calor sensible a la inferior. Con esto conseguimos convertir en calor latente parte del calor sensible del condensado.

El vapor flash se produce siempre que se reduce la presión del condensado; por ejemplo en trampas de vapor, purgas de calderas, etc. Un ejemplo muy significativo de obtención de vapor flash es la recuperación de calor de las purgas de calderas. Por ejemplo en una caldera que trabaja a 0.79 MPa, la temperatura del agua es de unos 443 °K, y cuando una parte de ésta se purga, produce vapor flash en una cantidad equivalente al 13% del agua purgada.

1.8.8. Reducción de fugas de vapor

Cualquier fuga de vapor en tuberías, equipos o accesorios, representa una pérdida de energía.

Este es un tema que debe ser objeto de campañas de sensibilización entre el personal, ya que a veces no se le presta la atención debida, ni se le da la importancia que realmente tiene.

En todo hospital es necesario establecer un programa de reducción de fugas, para evitarlas cuanto antes e incluso no esperar a que el hospital tenga que prescindir del vapor.

1.8.9. Mantenimiento de trampas de vapor

En una red de distribución de vapor, el mal funcionamiento y deterioro de las trampas de vapor o purgadores puede producir pérdidas superiores al 10% del total producido por las calderas.

Es muy importante prestar la debida atención a dichos dispositivos, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- Selección del tipo adecuado de trampa para el servicio requerido.
- Diseño adecuado de las tuberías de drenaje de condensado.
- Uso de filtros de protección para las trampas.
- Revisiones periódicas del funcionamiento de trampas y limpieza de filtros.
- Establecer el mantenimiento necesario para conservar el sistema trabajando en las condiciones óptimas.

Por otro lado, también en las válvulas de bloqueo y by-pass de las trampas puede haber fugas si están en mal estado; esto es si no cierran

herméticamente o fallan en el cierre. Una sola trampa mediana trabajando defectuosamente puede tener una pérdida de vapor de unos 20 kg/h, lo cual puede significar un consumo adicional de combustible en la caldera de $0.000025 \text{ m}^3/\text{s}$ ó $3.35 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{s}$.

En una red de vapor donde existen decenas de trampas, es fácil encontrar que un 20 a 30% de ellas presentan fugas de vapor, siendo lo admisible en la práctica un margen de fallas de un 5% como máximo. Ello puede significar para la empresa pérdidas cuantiosas de dinero por el mayor consumo de combustible, que con una pequeña inversión en mantenimiento y control, amortizable en la mayoría de los casos en menos de un mes, pueden suprimirse.

Las causas de las pérdidas de energía a través de trampas se pueden calificar en pérdidas directas y pérdidas indirectas. Existen varios métodos para comprobar el funcionamiento de las trampas de vapor, tales como:

- Método visual: observación de la descarga de la trampa por un by-pass (no siempre es posible y hay que saber distinguir entre vapor vivo y vapor flash).
- Control por mirillas en línea: Tienen que estar bien ubicadas y mantenerse limpias. La mirilla de vidrio es sólo una ventana colocada en el lado de la descarga de la trampa, de tal forma que el flujo descargado pueda ser observado.
- Control por medición de temperaturas antes y después de la trampa: puede resultar engañoso en algunos casos. Es necesario complementarlo con otros métodos.
- Método acústico: chequeo por el sonido que produce el vapor ó condensado a su paso por la trampa. Es un buen método en muchos casos y si no hay interferencias, puede complementarse con otros métodos.

El monitoreo de trampas permitirá conocer periódicamente el estado de las trampas y de acuerdo a ello tomar acciones preventivas o correctivas. La

periodicidad del monitoreo dependerá de las horas de funcionamiento del sistema de vapor, de la presión de trabajo, del modo cómo se opere el sistema, del diseño del mismo, etc. De acuerdo a ello la frecuencia puede variar de 2 a 4 veces al año.

1.8.10. Mejorar el aislamiento

Típicamente las calderas y sistemas de vapor trabajan a una presión de 0.68 a 1.03 MPa, lo cual significan que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, etc). Tiene temperaturas superficiales de 428 a 443 °K aproximadamente, por lo cual se crean gradientes de temperatura con el aire exterior que producen intercambios de calor que se traducen en pérdidas de energía al ambiente, lo cual es mayor cuando las instalaciones están a la intemperie.

Sucede también con frecuencia que el aislamiento es retirado de las tuberías, válvulas y partes de las calderas, para fines de reparación y no es repuesto, dejando así superficies desnudas que constituyen no solo un riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor y merma de éste, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

Para reducir las pérdidas de calor al ambiente es necesario que las superficies de tuberías, accesorios, equipos, etc., estén convenientemente aisladas, lo cual permitirá evitar que aproximadamente un 90% de la energía se pierda innecesariamente. El otro 10% se perderá inevitablemente, pues los aislamientos no son 100% eficaces.

La eficiencia y servicio de un aislamiento depende directamente de su protección a la entrada de humedad y del daño mecánico o químico, por lo tanto la selección de materiales para acabado de protección debe estar basada en las condiciones de la instalación.

Cualquiera sea el caso, al seleccionar un aislante para una determinada aplicación, deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tipo de aislante.
- Conductividad térmica.
- Emisividad del aislante.
- Temperatura de trabajo.
- Densidad.
- Capacidad de secado rápido si absorbe humedad.
- Estabilidad (alteración de sus características térmicas).
- Resistencia a la combustión.
- Emisión de gases tóxicos en caso de combustión.
- Facilidad de colocación.
- Resistencia al daño y al deterioro.
- Resistencia a la deformación y contracción.
- Facilidad para recibir un acabado exterior superficial.
- No ser peligroso para la salud durante su instalación.

1.9 Conclusiones parciales del capítulo

1. Un centro de salud posee sistemas diversos que son responsables de consumos considerables de portadores energéticos que incluyen la electricidad, vapor, agua y combustibles (gas, gasoil, diesel, etc.).
2. Los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor, en estas instalaciones, tienen como principales componentes el generador de vapor (caldera) y sus auxiliares, tuberías de vapor y sus elementos de distribución y regulación y los equipos consumidores destinados a tareas tales como: cocinas, esterilización, lavanderías, secadoras y laboratorio.
3. Diversos estudios concluyen que en los centros de salud, generalmente existe un exceso de consumo energético debido, entre otros factores, al diseño incorrecto de las instalaciones, inexistencia de control, aislamiento insuficiente, poco o ningún mantenimiento, poca capacitación de los operarios y una cultura poco eficiente del uso del sistema de generación, distribución y consumo de vapor.
4. La eficiencia energética se define como la razón entre la energía útil de salida y la energía de entrada al proceso. Para evaluar la misma se emplean diversos indicadores como termodinámicos, físico-termodinámicos, económico-termodinámicos y de magnitudes físicas,
5. Las principales oportunidades de ahorro en sistemas de producción, distribución y uso del vapor en el sector de la salud son: regular el exceso de aire, remplazar quemadores on-off por quemadores modulantes, reducir la presión del vapor, reducción de la formación de depósitos, recuperar condensados, uso del condensador de vapor por contacto, usar vapor flash, reducción de fugas de vapor, mantenimiento de trampas de vapor y mejorar el aislamiento

CAPITULO II

Capítulo II. Estudio energético del sistema de generación, distribución y consumo de vapor en el Hospital General del Sur Pedro Iturbe

2.1 Reseña histórica del Hospital

Sus orígenes datan desde 1930, registrado con el nombre de sanatorio antituberculoso de Maracaibo en 1948, y transformado en hospital general del sur en 1974, como un caso de estructuración institucional con peculiares estrategias para implementar su política de participación en el campo de salud.

Es un centro de salud pública, ubicado en el municipio san francisco, en el estado Zulia, Venezuela. El mismo está dentro de la clasificación del tipo IV, por contar con capacidad de 650 camas, con una infraestructura de diez pisos, área de emergencias de niños y adultos, área de cardiología, oficinas donde cumplen funciones administrativas del mismo, sótano, cocina, lavandería y sala de calderas. En el mismo se atiende un promedio de 600 pacientes diarios. se cuenta con treinta y siete especialidades, es uno de los hospitales más reconocidos tanto para la población del estado como otros estados que acuden a recibir el servicio prestado.

A continuación se muestra imagen del edificio de salud pública:



Figura 2.1 Hospital General Del Sur Pedro Iturbe

2.2. Descripción del sistema de generación, distribución y consumo de vapor del Hospital.

El sistema de generación, distribución y consumo de vapor del Hospital está compuesto por cuatro subsistemas que son:

- producción de vapor (sala de calderas)
- sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.
- unidad de utilización de vapor en cocinas
- unidad de utilización de vapor en lavandería
- unidad de utilización de vapor en laboratorio y central de suministro

Estos subsistemas se interconectan a su vez por varias tuberías de distribución de vapor y retorno del condensado.

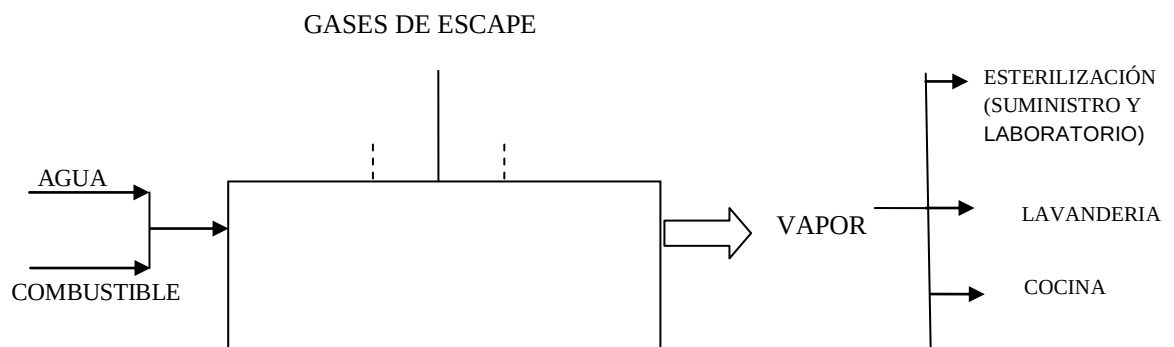


FIGURA 2.2 Esquema topológico de la caldera Hospital General Del Sur Pedro Iturbe

2.2 Descripción de los sistemas de generación, distribución y consumo de vapor

2.2.6. Unidad de producción de vapor (sala de calderas)

La casa de calderas del Hospital General del Sur Pedro Iturbe tiene los siguientes componentes:

- Dos calderas.
- Un tanque de retorno de agua caliente.
- un tanque de tratamiento de agua.
- Un tanque de agua de suministro
- Dos bombas de suministro de agua.

Las calderas presentan las siguientes características técnicas:

Tabla 2.1 Datos técnicos del generador marca continental

Características técnicas Generador de vapor 1		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Marca	-	Eclipse
Producción de vapor	kg/h	953,96
Presión de diseño	psi	125
Presión de trabajo	psi	80
Año de fabricación	-	1975
Combustible	-	gas

Tabla 2.2 datos técnicos del generador marca Elipse

Características técnicas Generador de vapor 2		
Parámetro	Unidad de medida	Valor
Marca	-	Continental
Producción de vapor	kg/h	3130
Presión de diseño	psi	125
Presión de trabajo	psi	80
Año de fabricación	-	2002
Combustible	-	Gasoil

Fuente: Datos Técnicos

El combustible que se utiliza para la generación de vapor es el gasoil. El vapor que sale de la caldera es enviado a las diferentes áreas de consumo del vapor.

Las calderas trabajan 12 h/d de lunes a domingo, solo las áreas de cocina y lavandería, ya que laboratorio y central de suministro no laboran sábado y domingo. Esto da un total de 2939 horas al año. En cuanto a el mantenimiento de la caldera, se hace uno total una vez al año (en el mes de octubre) o en su defecto cuando se amerite de mantenimiento correctivo, cabe destacar que no se cuenta con registro de historial del funcionamiento de la caldera ni de mantenimiento diario o periódico. El mecánico es el encargado de purgar a las 6 de la tarde la caldera, pero no se controla su funcionamiento ni su comportamiento.

Las calderas de este centro son alimentadas mediante agua procedente del servicio público que va hasta un tanque de almacenamiento. Esta agua es tratada antes de introducirse en la caldera por un sistema de tratamiento de agua, después se bombea a presión mayor que la que se encuentra dentro de la caldera.

Tabla 2.3 Características técnicas de la bomba de alimentación de la caldera

• MODELO	215MZG
• POTENCIA	7.46 kW
• VOLTAJE	220
• RPM	1490
• CAUDAL	$3,47 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$

Fuente propia

2.2.2 Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.

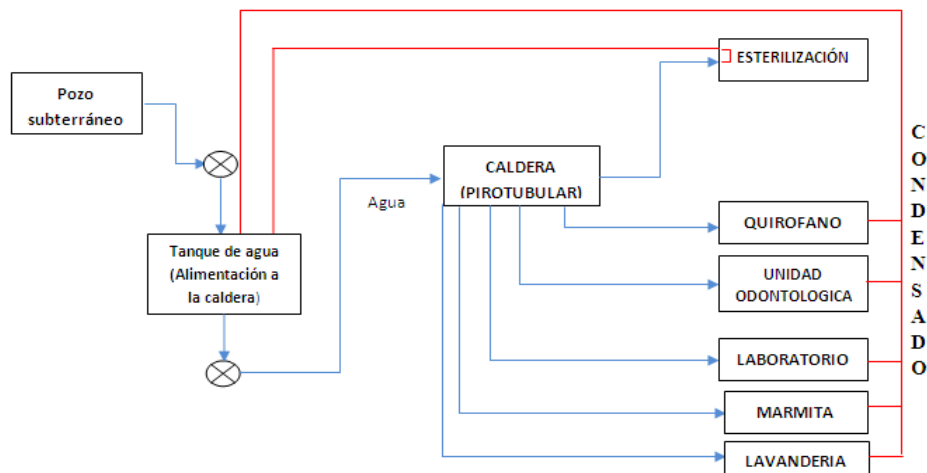


Figura 2: Esquema de la distribución del vapor en el hospital

2.2.3 Unidad de utilización de vapor en cocinas

El área de cocina cuenta con 9 equipos consumidores de vapor distribuidos de la siguiente forma;

- Área de cocción: constituida por 4 marmitas en una hilera y en las otras 2 marmitas más 2 hornos.
- Área de fregado: una fregadora de bandejas.

En esta área la red de distribución de vapor tiene un diámetro de 50.8 mm y la de retorno de condensado 31.75 mm desde la red principal que pasa por el pasillo paralelo a esta área hasta donde se encuentran los consumidores, contiene reducción ubicada a la entrada de la cocina de 250 kPa (con su válvula reductora y accesorios correspondientes, con su diámetro 19,05 mm. Además la red que va hasta la fregadora de bandejas es de 31.75 mm para el vapor y 25,4 mm para el retorno de condensado, ambas tuberías presentan un largo aproximado de 48 m.

2.2.4 Unidad de utilización de vapor en lavandería

En el área de lavandería trabajan 2 lavadoras del tipo barrera sanitaria y dos secadoras, la red de distribución dentro de la lavandería es de 50.8 mm y el retorno de condensado es de 31.75 mm existen 13 tomas de vapor e igual número para condensado, todas 19,05 mm con una válvula en el extremo para

la futura conexión del equipamiento que se le será asignado por la red hospitalaria.

2.2.5 Unidad de utilización de vapor en laboratorio y central de suministro

Laboratorio: La red de vapor que entra a este local desde la red principal tiene un diámetro de 25,4 mm, posee 3 consumidores que son los autoclaves.

Central de suministro: La red de tubería es de 25,4 mm y contiene además la alimentación a los 5 consumidores tales como los autoclaves, con una distancia de 24 m aproximadamente.

2.3 Diagnóstico energético.

El diagnóstico energético realizado en la casa de calderas incluye como tarea fundamental la realización del balance térmico de las calderas del hospital y la inspección visual de las redes de tuberías de distribución de vapor y retorno de condensado.

2.3.1 Diagnóstico energético de los generadores de vapor.

Metodología empleada en el cálculo: Balance Térmico de un Generador de Vapor por el Método Indirecto (Normas Europeas), el cual se desarrolla el cálculo para ciertos parámetros luego se presentan los resultados de otro generador en sus condiciones al momento de evaluar y proponiendo las mejoras con el fin de comparar el beneficio que aporta al aplicarse.

Balance Térmico Generador de Vapor 1

Datos Iniciales Generador de Vapor 1:

El tipo de generador de vapor es pirotubular, marca continental con su data técnica:

Tabla 2.3 datos técnicos del generador marca continental

VARIABLE	valor
Capacidad nominal del generador de vapor, ton/hr	6,9

Producción de vapor real, ton/hr		2,3
Presión de vapor saturado kPa		5,98
Temperatura de vapor sobrecalentado,		200
Temperatura de vapor saturado °C		280
Temperatura del agua de alimentación, °C		50
Combustible		Gas Oil
Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg		43822
	C, %	86,6
	H,%	11,7
	O,%	0
Composición del combustible	N,%	1
	S,%	0,8
	A,%	0,1
	W,%	1
Temperatura del combustible a quemadores, °C		37
Temperatura de gases de salida, °C		280
	CO ₂ , %	8,15
Composición gases de salida	O ₂ , %	10
	CO, PPM	0,4
Temperatura del aire ambiente, °C		40

Fuente propia

Desarrollo del cálculo

Se procede a calcular el calor disponible con la siguiente fórmula:

$$Q_d = Q_i + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat}, \text{ kJ/kg}$$

Q_i - Poder calórico del combustible

$$Q_i = 43822 \text{ kJ/kg}$$

Q_c = Calor físico del combustible.

$$Q_c = C_c * T_c, \text{ kJ/ kg}$$

C_c – calor específico del combustible

T_c –Temperatura del combustible suministrado al horno.

$$T_c = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_c = 1,738 + 0.0025 * T_c = 1,738 + 0,0025 * 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_c = 1.8305 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_c = 1.8305 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C} * 37^{\circ}\text{C} = 67,7285 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{pca} = 0 \text{ (no hay precalentador de aire con vapor)}$$

$$Q_{vat} = 0 \text{ (quemadores de atomización mecánica)}$$

$$Q_d = 43822 \text{ kJ/kg} + 67,7285 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_d = 43889,7285 \text{ kJ/kg (Valor real)}$$

CALCULO DE PERDIDAS POR FALTA DE PRE CALENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

$$Q_d = Q_i + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat}, \text{ kJ/kg}$$

Q_i - Poder calórico del combustible

$$Q_i = 43822 \text{ kJ/kg}$$

Q_c = Calor físico del combustible.

$$Q_c = C_c * T_c, \text{ kJ/ kg}$$

Cc – calor específico del combustible

Tc –Temperatura del combustible suministrado al horno.

$$T_c = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_c = 1,738 + 0,0025 \cdot 137 = 1,738 + 0,0025 \cdot 137$$

$$C_c = 2,0805 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_c = 2,0805 \text{ kJ/kg} \cdot 137 \text{ }^{\circ}\text{C} = 285.0285 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{pca} = 0 \text{ (no hay precalentador de aire con vapor)}$$

$$Q_{vat} = 0 \text{ (quemadores de atomización mecánica)}$$

$$Q_d = 43822 \text{ kJ/kg} + 285.0285 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_d = 44107.0285 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{d(sp)} = Q_d \text{ (Valor ideal)} - Q_d \text{ (Valor real)}$$

$$Q_{d(sp)} = 44107.0285 \text{ kJ/kg} - 43889,72 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{d(sp)} = 217.3 \text{ kJ/kg}$$

PÉRDIDA POR COMBUSTIBLE NO QUEMADO.

$$q_4 = 0, \text{ por ser combustible líquido}$$

PÉRDIDA DE CALOR SENSIBLE CON LOS GASES DE SALIDA

$$q_2 = \frac{(I_g - \alpha_{sal} \cdot I_{af}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)}{Q_d} \cdot 100$$

Coeficiente de exceso de aire a la salida del generador de vapor.

$$N_2 = 100 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}, \%$$

$$N_2 = 100 - 8,15 - 10 - 0,4$$

$$N_2 = 81.45 \%$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3.62 \cdot \left(\frac{O_2 - 0.5 \cdot CO}{N_2} \right)} \quad \alpha_{sal} = 1,80$$

Entalpía del aire frío.

$$I_{af} = \alpha_{sal} \cdot V^o_a \cdot i_a \quad \text{kJ/ kg}$$

A 40 °C (Tabla A-7 Anexos Texto Básico)

$$i_a = 152,4737 \text{ kJ/m}^3\text{N}$$

$$V^o_a = 0,089 \cdot (C + 0,375 \cdot S) + 0,265 \cdot H - 0,033 \cdot O$$

$$V^o_a = 0,089 \cdot (86,0 + 0,375 \cdot 0,8) + 0,265 \cdot 11,1 - 0,033 \cdot 0,5 = 10.34 \text{ m}^3 \text{ N/ kg}$$

$$I_{af} = 1,80 \cdot 10.34 \text{ m}^3 \text{ N/ kg} \cdot 152,4737 \text{ kJ/m}^3\text{N} = 2837.8405 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía de los gases de salida.

$$I_g = I^o_g + I^o_a \cdot (\alpha - 1), \quad \text{kJ/kg}$$

A 280 °C (Tabla A-6 Anexos Texto Básico)

$$I_g = 4540,4 + 3992 (1,80 - 1) = 7747 \text{ kJ/kg}$$

$$q_2 = \frac{(7747 \cdot 69 - (1,80 \times 2837 \cdot 84))}{43889,7285} \cdot 100$$

$$q_2 = 11.18\%$$

PÉRDIDA DE CALOR POR COMBUSTIÓN INCOMPLETA

Se asume tomando como referencia el valor dado para gasoil, de la Tabla A-5 del Libro Combustión y Generación de Vapor por Rubio y Borroto.

$$q_3 = 0.5 \%$$

PÉRDIDA DE CALOR POR RADIACIÓN Y CONVECCIÓN

$$D_n = 3.13 \text{ tn/hr}$$

$q_5nom = 2,8 \%$ (Fig. 3,2 Cap. 3 Libro Generadores de Vapor. Funcionamiento y Explotación. Angel Rubio González. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, 2000).

$$q_5real = q_5nom \times \frac{Dnom}{Dreal}$$

$$q_5real = 2,8 \times \frac{3,13}{2,35} = 3,72 \%$$

$$q_5 = 3,72 \%$$

PÉRDIDA CON EL CALOR FÍSICO DE LOS RESIDUOS DEL HORNO

$q_6 = 0$ – Esta pérdida es aplicable a combustibles sólidos.

EFICIENCIA POR EL MÉTODO INDIRECTO

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 = 100 - 11,18 - 0,5 - 0 - 3,72.$$

$$\eta = 84,59 \%$$

CALOR ÚTIL

$$Q_1 = D_v \cdot (h_{vs} - h_{aa})$$

$$D_v = 6,9 \text{ t/hr}$$

A 5,98 kg/cm² man. y 250 °C la entalpía del vapor es igual a $h_{vs} = 2747,5 \text{ kJ/kg}$

A 45 °C la entalpía del agua de alimentación es igual a $h_{aa} = 188,81 \text{ kJ/kg}$

Y por tanto, el calor útil será igual a:

$$Q_1 = 6900 (2747,5 - 188,81) = 17654961 \text{ kJ/hr}$$

$$Q_1 = 17654961 \text{ kJ/hr}$$

GASTO DE COMBUSTIBLE

$$B_c = \frac{Q_1}{Q_d \times \eta} \times 100$$

$$B_c = \frac{17654961}{43885,89 \times 84,57} 100$$

B_c = 47,5kg/h

2.3.2 Balance Térmico Generador de Vapor 2

Tabla 2.5 Datos técnicos del generador marca Elipse

Capacidad nominal del generador de vapor, ton/hr		0,95
Producción de vapor real, ton/hr		0,76
Temperatura de vapor sobrecalentado, °C		200
Temperatura del agua de alimentación, °C		45
Combustible		Gas Oil
Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg		43822
	C, %	86,6
	H, %	11,7
	O, %	0
Composición del combustible	N, %	1
	S, %	0,8
	A, %	0,1
	W, %	1
Temperatura del combustible a quemadores, °C		37
Temperatura de gases de salida, °C		300
	CO ₂ , %	10,2
Composición gases de salida	O ₂ , %	8

	CO, PPM	400
Temperatura del aire ambiente, °C		35

Fuente propia

Resultados:

Siguiendo la metodología descrita en el caso anterior se obtiene:

Eficiencia del generador marca elipse:

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5$$

$$\eta = 83,22 \%$$

Se calcula el gasto de combustible obteniendo:

$$B_c = \frac{Q_1}{Q_d \times \eta} \times 100 \quad B_c = 55,72 \text{ kg/h}$$

Tabla 2.6 resultados del cálculo

RESULTADOS	CALDERA I	CALDERA II
TEMPERATURA °C	280	300
□sal	1,8	1,53
EFICIENCIA η	84,59	83,22
Bc kg/h	47,5	55,72

Fuente propia

Además de la baja eficiencia de ambos generadores de vapor mediante el diagnóstico de recorrido se detectan otras dificultades como falta de instrumentación, salideros de vapor en las válvulas principales, deterioro del aislamiento térmico de la línea principal de vapor hasta el distribuidor.

2.4 Diagnóstico energético de las redes de distribución de vapor y retorno de condensado.

En las líneas de distribución de vapor y retorno de condensado se detecta como principal deficiencia la ausencia de aislamiento térmico en las siguientes líneas:

Tabla 2.7 Distribución de vapor, diámetros de tuberías

Área	Línea vapor (m)	Línea condensado (m)	Diámetro (mm)	Longitud total metros
LAVANDERÍA	48	48	50,8	126
COCINA	78	78	31,75	126
LABORATORIO Y CENTRAL DE SUMINISTRO	42	42	5,4	84
			total	336

Fuente propia

Estos conductos sin aislamiento representan una pérdida energética que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.8 Representación de pérdidas de energía por tubería sin aislamiento

SIN AISLAMIENTO	
TUBERIAS DIAMETROS(mm)	PÉRDIDAS DE ENERGIA KWH/DIA
50,8	182936
31,75	182936
25,4	121956

Fuente propia

2.4 Identificación de las oportunidades de ahorro y uso racional de la energía.

A partir de los resultados del diagnóstico energético realizado se identificaron como principales oportunidades de ahorro en esta instalación:

1. El ajuste de la combustión de los generadores de vapor para incrementar su eficiencia energética.
2. La sustitución del aislamiento térmico de líneas principales de distribución de vapor y condensado.

2.5 Conclusiones parciales del capítulo

1. El sistema de generación, distribución y consumo de vapor del Hospital está compuesto por los subsistemas de producción de vapor (sala de calderas), distribución de vapor y retorno de condensado y utilización de vapor en cocinas, lavandería, laboratorio y central de suministro.
2. El diagnóstico energético realizado arrojó como resultado principal la baja eficiencia de ambos generadores de vapor, la existencia de salideros de vapor en las válvulas principales y el deterioro del aislamiento térmico de gran parte del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.
3. A partir de los resultados del diagnóstico energético realizado se identificaron como principales oportunidades de ahorro en esta instalación el ajuste de la combustión de los generadores de vapor para incrementar su eficiencia energética y la sustitución del aislamiento térmico de líneas principales de distribución de vapor y condensado.

Capítulo III. Propuesta de programa de ahorro energético y uso racional de la energía.

En el capítulo anterior se expusieron los resultados del diagnóstico energético realizado al sistema de generación, distribución y consumo de vapor en el Hospital General del Sur Pedro Iturbe. En el mismo se detectaron dificultades como baja eficiencia de los generadores de vapor, mal estado técnico de las líneas de distribución y de retorno de condensado así como de su aislamiento térmico, fugas de vapor y condensado y errores operacionales,

A partir de esto se identificaron como principales oportunidades de ahorro en esta instalación: el ajuste de la combustión de los generadores de vapor y la sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado, cuestiones cuya solución será abordada en este capítulo.

3.1 Proyectos de mejora

Para la implementación de los proyectos de mejora se contó con la información ofrecida por técnicos de la empresa cubana ALASTOR, que durante los años 2010-2012 desarrollaron un proyecto de rehabilitación de las redes técnicas y servicios de generación de vapor para los hospitales adscriptos al Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS).

En el caso de los generadores de vapor, los trabajos realizados incluyeron la limpieza de las superficies de transferencia de calor, ajuste de los quemadores de combustible y del coeficiente de exceso de aire mediante pruebas de campo.

CAPITULO III

3.1.1 Proyecto de mejora: Ajuste de la combustión de los generadores de vapor.

3.1.1.1 Cálculos técnicos

Tabla 3.1. Resultados del balance de energía de los generadores del hospital

RESULTADOS	GENERADOR I	GENERADOR II
Temperatura Gases Escape, °C	180	185
Coefficiente Exceso Aire	1,2	1,13
Eficiencia, n	88,44	87,22
Consumo Combustible, Bc Kg/H	37,2	40,3

Fuente: propia

3.1.1.2 Evaluación económica.

El efecto económico de este proyecto puede evaluarse mediante los ahorros de combustible obtenidos y su valor en BsF.

Tabla 3.2. Resultados del cálculo del ahorro de combustible y económico

Generador de Vapor	Ahorro de combustible Kg/año	Ahorro económico BsF/año
I	109,330	52,478
II	118,441	56,832

Fuente: propia

3.1.2 Proyecto de mejora: Sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado.

De forma similar para la evaluación de este proyecto se contó con la información ofrecida por técnicos de la empresa ALASTOR. En este

caso se colocó aislamiento de fibra de vidrio con cubierta de aluminio en las conductoras de vapor y líneas de retorno de condensado.

3.1.2.1 Cálculos técnicos

Se propone ubicar aislamiento térmico de fibra de vidrio en todas las tuberías, con un espesor de 10 mm (según recomendaciones técnicas de ALASTOR). La siguiente tabla muestra los resultados del cálculo comparativo respecto a la situación inicial (sin aislamiento).

Tabla 3.3. Resultados del cálculo del aislamiento térmico

CON AISLAMIENTO			
TUBERIAS DIAMETROS(mm)	AHORRO DE ENERGIA kWh/DIA	AHORRO DE ENERGIA BF/DIA	AHORRO DE ENERGIA BF/ANO
50,8	97	0,12	41,77
31,75	71	0,09	30,76
25,4	39	0,05	17,02

Fuente: propia

En este caso el costo en bolívares fuerte en el año es de 89,55 bolívares fuertes y el ahorro que se obtiene es 210, 214 BsF/año con respecto al caso inicial sin aislamiento.

3.3 Conclusiones parciales del capítulo

1. Se proponen y evalúan dos proyectos de mejora de la eficiencia energética en la instalación: ajuste de la combustión de los generadores de vapor y sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado.
2. Mediante el proyecto de mejora referido al ajuste de la combustión de los generadores de vapor se logró incrementar la eficiencia de los generadores de vapor 1 y 2 hasta 88,44 y 87,22% respectivamente, obteniéndose ahorros totales de combustible por valor de 109311 BsF.

3. El proyecto de mejora sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado muestra como resultado principal la reducción de los costos asociados a las pérdidas de energía de 210 214 BsF/año.

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

1. Un centro de salud posee sistemas diversos que son responsables de consumos considerables de portadores energéticos que incluyen la electricidad, vapor, agua y combustibles (gas, gasoil, diesel, etc.).
2. El sistema de generación, distribución y consumo de vapor del Hospital está compuesto por los subsistemas de producción de vapor (sala de calderas), distribución de vapor y retorno de condensado y utilización de vapor en cocinas, lavandería, laboratorio y central de suministro.
3. El diagnóstico energético realizado arrojó como resultado principal la baja eficiencia de ambos generadores de vapor, la existencia de salideros de vapor en las válvulas principales y el deterioro del aislamiento térmico de gran parte del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.
4. A partir de los resultados del diagnóstico energético realizado se identificaron como principales oportunidades de ahorro en esta instalación: el ajuste de la combustión de los generadores de vapor para incrementar su eficiencia energética y la sustitución del aislamiento térmico en las líneas principales de distribución de vapor y retorno de condensado.
5. Mediante el proyecto de mejora referido al ajuste de la combustión de los generadores de vapor se logró incrementar la eficiencia de los generadores de vapor 1 y 2 hasta 88,44 y 87,22% respectivamente, obteniéndose ahorros totales de combustible por valor de 109311 BsF.
6. El proyecto de mejora sustitución del aislamiento térmico de líneas de distribución de vapor y condensado muestra como resultado principal la reducción de los costos asociados a las pérdidas de energía de 210 214 BsF/año.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Divulgar los resultados a la gerencia del hospital y referido al departamento de mantenimiento
2. Proponer al departamento de mantenimiento la elaboración de un programa de gestión de mantenimiento para el área de generación, distribución y consumo de vapor.
3. Profundizar esta investigación con el fin de implantar un sistema de gestión energética en el hospital.
4. Gestionar con la empresa ALASTOR, convenio Cuba - Venezuela información técnica de los trabajos realizados en la sala de caldera.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Borroto Nordelo, Aníbal, Combustión y Generación de Vapor, Aníbal Borroto Nordelo, Angel Rubio González. Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos, 2 007.
2. Ministerio de Energía y Minas. Manual de Eficiencia Energética para Jefes de Mantenimiento de Hospitales. Área de Planeamiento Energético, Ministerio de Energía y Minas, Perú, 2004.
3. Arroyo, Víctor, Eficiencia Energética en la Generación y Distribución de Vapor , CINYDE, 2001
4. Bocanegra, Manuel. Manual de Uso Racional de Energía para Edificios Públicos, PAE / MEM, 2002
5. CENERGIA, Estudios varios en hospitales de ESSALUD (Ex IPSS);1991-1992 EEO, Energy Efficiency in Hospitals by Good Housekeeping, Good Practice Case Study 129, Best Practice Programme, BRECSU, Garston, Watford, UK, 1992.
6. Energy Efficiency in Hospitals and Clinics, A THERMIE Action Programme, Commission of the European Communities, Belgium, 1993.
7. MB & ASOCIADOS, Estudio de Eficiencia Energética en la Clínica Vesalio, 2002
8. Aronsson, P.E. Nilsson, Learning from experiences with Energy Management of Commercial Buildings, CADDET Energy Efficiency Analysis Series No. 19, The Bridgman, Hospital lighting refurbishment paid for by energy savings, Energy Efficiency Newsletter No. 2/1996, (N).
9. Jakélius, Learning from experiences with Energy Savings in Hospitals, CADDET Energy Efficiency Analysis Series No. 20, The Netherlands, 1996.
- 10.UK-94-553, Energy Savings in Newcastle Health Authority (R).
- 11.US-95-550, Pilot energy managemt programme in Florida hospital, (R).
- 12.Varios Autores, Manual para Consultores en Eficiencia Energética, CDG – PAE / MEM, 1999
- 13.Vidal Moya, David Armando. Determinación del factor de carga en las calderas pirotubulares en la ciudad de Cienfuegos. Tesis en opción al grado de Master en Eficiencia Energética. Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos. Cuba.

14. CONAE, Metodología para el desarrollo de diagnósticos energéticos en sistemas de generación y distribución de vapor, CONAE, Versión 1.4, Octubre, 1 997
15. Llapido Rodríguez, MSc. Margarita J., Incremento de la eficiencia térmica en calderas pirotubulares por disminución de las pérdidas por calor sensible, Tesis presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Cienfuegos, 1 998.
16. <http://www.hospitecnia.com>
17. <http://www.EngineeringToolBox.com>
18. Jakélius S., 1996, Learning Experiences With Energy Savings In Hospitals, CADDET, Analyses Series 20, 145pp.
19. Lockie, D.S., 1999, The Energy Efficient Refurbishment Of Hospitals, Ponencia N°17 En La Jornada Tecnológica De Soluciones Para La Disminución De Costes Energéticos En Hospitales, Madrid, 18 De Noviembre, IDEA, España.
20. Santamouris M., Et Al. 1994, Energy Performance And Energy Conservation En Health Care Buildings In Hellas, Energy Convers. Mgmt Vol.35, No.4, Elsevier Science Ltd. Great Britain, Pp. 293-305.
21. Soriano J. G., 1999, Resultados Del Proyecto Del Hospital General Universitario De Valencia, Ponencia N°18, En La Jornada Tecnológica “Soluciones Para La Disminución De Costes Energéticos En Hospitales”, Madrid, España, 18 De Noviembre, IDAE.
22. Macías Macías, J. Evolución de los consumos energéticos y de agua en un hospital de 600 camas, Revista INGENIERÍA HOSPITALARIA, octubre 2010
23. Andrés Jiménez, G. Herramientas gerenciales para la optimización del consumo energético, INCAE Business School.
24. Latorre Beltrán, J. V. La eficiencia energética en los hospitales de la Comunitat Valenciana, Jornada Técnica de Ingeniería Hospitalaria, Valencia, 2012, España.