



**República de Cuba**

**Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"**  
**Facultad de Ingeniería**

**ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE  
CLIMATIZACIÓN DEL HOTEL ALBA CARACAS**

Tesis en opción al título de Master en Eficiencia  
Energética.

**Autor: Prof. Reinaldo José González Pérez**

**Tutores: Dr. Mario Álvarez Guerra**

**Dr. Sergio Montelier Hernández**

**Venezuela, 2012**



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos: “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de los estudios de la Maestría en Eficiencia Energética, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación del autor.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

---

Firma del tutor

---

Información Científico Técnica

Nombres y Apellidos

---

Computación

Nombres y Apellidos

## **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy las gracias primero y principalmente al Licenciado Alfredo Echezuría quien gentilmente me extendió la invitación a participar en los estudios de cuarto nivel, fiel, consecuente amigo y compañero de trabajo.

A la existencia y convergencia de dos pueblos hermanos: Cuba y Venezuela quienes movidos por el principio de igualdad y equidad social entre los hombres de la tierra, se han encontrado en este momento histórico de la humanidad.

A los Ingenieros Raúl Tovar, Reiniel Guevara, Oscar Pérez y Ana Gabriela Velázquez, Gerentes de Mantenimiento durante los tres años de investigación y a su grupo de supervisores técnicos: Gerson Sánchez, Gromar Cárdenas, Luis Hernández, Octavio González, Betsabet Noguera y Carlos Márquez; todos del Hotel Alba Caracas quienes se unieron al grupo de eficiencia energética aún sin existir ningún documento legal que permitiera la incursión de institución alguna a las instalaciones de las edificaciones del estado.

Al ingeniero Carlos Lamus, Gerente de Estudios Técnicos de la Fundación para el Desarrollo del Sector Eléctrico Venezolano, quien continuamente ha empeñado sus esfuerzos en mejorar las condiciones de supervisión, control y regulación en el sector eléctrico.

Al sociólogo Jorge Herrera, por su empeño constante en el buen desenvolvimiento de las actividades realizadas día a día de acuerdo con el convenio educativo Cuba-Venezuela

A los profesores de maestría de la Universidad de Cienfuegos quienes nos transmitieron sus conocimientos con gran esmero y dedicación.

# SINTESIS

## **SINTESIS**

El presente trabajo está relacionado con el estudio energético del sistema de climatización del Hotel Venetur Alba Caracas. El objetivo es mejorar la eficiencia en la explotación de estos sistemas para reducir el consumo energético y el impacto ambiental asociado.

Se abordaron dos proyectos: El primero encaminado a incrementar la temperatura del agua helada del sistema de climatización en determinadas condiciones climáticas. El segundo aspecto está relacionado con la selección de un motor más eficiente para sustituir motores actuales en los sistemas de bombeo de agua helada y de condensación. En ambos casos el propósito es disminuir el consumo de energía y se desarrollaron en el sistema de climatización tipo todo-agua a presión constante del Hotel Venetur Alba Caracas.

El ahorro potencial calculado para las medidas propuestas para el hotel considerado asciende a 112 584 kWh anuales lo que equivale a dejar de emitir a la atmosfera un total de 22 394 kilogramos de CO<sub>2</sub>. La inversión propuesta en el caso de la sustitución de motores se recupera en tres años y para el caso de incrementar la temperatura de agua helada, los ahorros ascienden a 105 120 kWh. La metodología empleada puede ser generalizada a otras edificaciones con sistemas de climatización centralizado del tipo todo-agua.

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

Introducción .....	- 2 -
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE .....	7
1.1. Situación Energética Mundial, histórica y proyección .....	7
1.2. Sobreexplotación del planeta.....	8
1.3. Matriz energética mundial.....	9
1.4. Venezuela y el uso racional y eficiente de la energía .....	11
1.5. Sistemas de Climatización, antecedentes .....	12
1.6. Situación actual en los sistemas de climatización en la hotelería.....	13
CAPÍTULO II Caracterización energética del hotel Venetur Alba Caracas .....	21
2.1. Descripción del hotel .....	21
2.2. Caracterización de los sistemas energéticos del hotel. ....	22
2.2.1. Sistema de climatización .....	23
Para la evaluación del chiller se realizaron las siguientes mediciones:.....	27
2.2.2. Sistema de bombeo de agua helada y de condensación.....	29
2.2.2.1. Estimado de la eficiencia del motor a cargas parciales. ....	32
2.2.2.2. Cálculo de la potencia de salida .....	34
2.3. Identificación de las potencialidades de ahorro de energía .....	35
CAPÍTULO III. Proyecto de mejoras energéticaS del sistema de climatización..	38
3.1. Ajuste de la temperatura de consigna del agua helada .....	38
3.2. Sustitución de motores sobredimensionados .....	43
3.3. Cálculo Económico .....	50
Conclusiones parciales .....	55

Conclusiones GENERALES .....	57
Recomendaciones .....	59
Bibliografía.....	61
Nexos.....	69

## INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

El Hotel Venetur Alba Caracas perteneció, en concesión, a la Compañía Hotelera Hilton. La concesión fue retirada durante el año 2007 por el Gobierno Bolivariano de Venezuela. En la instalación, con su largo periodo de explotación, se evidencia un moderado deterioro de sus instalaciones energéticas que lo hacen un ineficiente consumidor de energía eléctrica.

La demanda de electricidad en Venezuela se ha incrementado en los últimos tres años (2009 - 2011) a razón de 7% anual (1), provocado por un excesivo consumo en el área industrial, comercial y residencial; estando inmerso en ello la responsabilidad social del sector hotelero y en especial, el Hotel Venetur Alba Caracas.

La declaratoria del estado de emergencia eléctrica, en el decreto 7228 (2), obligó a revertir esta situación con acciones conjuntas entre el estado y los diferentes tipos de usuarios, e impulsó los estudios acerca de la reducción del consumo de electricidad y la eficiencia energética en general.

Actualmente en Venezuela no se utilizan metódicamente las herramientas y técnicas de Uso Eficiente de la Energía (UEE) en los hoteles de corte turístico. Sin embargo, desde el año 2009, a través de los acuerdos de cooperación entre los países hermanos Cuba y Venezuela, se han realizado inspecciones para determinar el uso eficiente de la energía, en tres hoteles ubicados en el estado Nueva Esparta (isla de Margarita), identificándose importantes potenciales de ahorro.

Entre las acciones fundamentales para hacer un uso racional y eficiente de la energía, en un sistema de climatización, se recomienda implantar un plan de mantenimiento sistemático y proponer mejoras de los diferentes elementos que lo conforman. (3) (4). Se centra la atención del trabajo de investigación en este último aspecto.

Teniendo en cuenta estas condiciones y con el propósito mayor de avanzar en el crecimiento del actual gobierno, se genera la necesidad de analizar sistemáticamente el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en instalaciones como el Hotel Venetur Alba Caracas, en Caracas Distrito Capital.

### **Justificación del estudio**

El estudio se argumenta debido al alto consumo de electricidad que presenta el hotel, según la prestadora del servicio eléctrico, Corporación Eléctrica Nacional, S.A. (CORPOELEC), quien lo clasifica como alto consumidor. Además, este consumo que se ha reducido muy poco desde la fecha del diagnóstico energético realizado durante el año 2009, hasta la presente fecha, mayo 2012, no se encuentra en concordancia con las resoluciones y decretos vigentes en Venezuela a partir de noviembre de 2009 (5) (2) (6).

En trabajos anteriores sobre esta temática varios autores (7) (8) coinciden en plantear que los sistemas de climatización son altos consumidores de energía eléctrica y en particular la unidad de enfriamiento de agua o chiller. Es por ello que al aplicar medidas que conlleven a mejorar el rendimiento del sistema de climatización se constituyen en herramientas aplicables que conduzca al cumplimiento de las metas establecidas en las resoluciones emanadas por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) (6).

### **Problema científico**

El hotel Venetur Alba Caracas no cuenta con un estudio energético de su sistema de climatización centralizada que permita identificar potenciales de ahorro y elaborar proyectos de mejoras para disminuir sus consumos energéticos.

### **Objetivo general**

Proponer proyectos de mejoras del desempeño energético del sistema de climatización del Hotel Venetur Alba Caracas.

## **Objetivos específicos**

- Establecer el estado del conocimiento sobre los sistemas de climatización en la hotelería nacional e internacional.
- Realizar la caracterización energética del sistema de climatización del hotel.
- Proponer alternativas de mejoras de la eficiencia energética a partir de las oportunidades de ahorro de mayores potencialidades.
- Evaluar técnica y económicamente las diferentes propuestas que pudieran ser seleccionadas.

## **Hipótesis**

La realización de propuestas de mejoras en el sistema de climatización, debe contribuir a reducir los consumos energéticos eléctricos e incrementar la eficiencia y la calidad del servicio.

## **Diseño Metodológico de la Investigación**

Se trabaja con un método experimental no diseñado y con la utilización de las técnicas estadísticas para el procesamiento de datos de acuerdo a las características de la investigación planteada, de modo determinativo, utilizando durante la investigación instrumentos de medidas de temperatura Testo 174H con precisión certificada de calidad DIN EN ISO 9001:2000 y un analizador de red eléctrica trifásico, con precisión de conformidad con las normas internacionales: NF EN601010-1:2001, NF EN 61236-1, CEI 1000-4-2, CEI 1000-4-3 y otras CEI 1000-4-5, CEI 1000-4-6, CEI 1000-4-11.

Las mediciones se realizaron dando cumplimiento a la Resolución N° 315 (9), mediante la cual se dictan las Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad de Venezuela.



Figura 1. Diagrama de flujo del diseño metodológico

### **Beneficios esperados**

Implementados los proyectos de mejora propuestos y evaluados, deben lograrse reducciones importantes del consumo energético eléctrico del hotel.

### **Límites del alcance de la investigación**

La investigación está restringida a las posibilidades técnicas y de información disponibles en el hotel. La ausencia de información estadística sobre datos históricos de funcionamiento de los diferentes equipos que conforman el sistema de climatización y su disponibilidad técnica y operativa, limitan el alcance de esta investigación.

## **CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE**

# CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

## 1.1. Situación Energética Mundial, histórica y proyección

Hasta el año 2020 se debe implementar, sobre todo en el sector de energía, un cambio de tendencia, dado que la producción de energía por combustión de petróleo, carbón y gas natural representó en 2005 casi el 45% de la "huella ecológica" mundial, según World Wide Fund for Nature (WWF) (10).

A través de la promoción de energías renovables, más eficiencia energética en la industria, en los edificios y el transporte; así como la reducción importante de sustancias tóxicas de los combustibles fósiles, se prevé como una posibilidad para 2050 cubrir la demanda mundial de energía y reducir a la vez las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un 60% a 80%, afirma WWF. El 65 % del aumento en la demanda energética, se les adjudica a los países en desarrollo, donde el crecimiento demográfico y económico por muy pequeño siempre será mayor que en los países en desarrollo. En la figura 1.1 se muestra la distribución de la demanda de energía por regiones.

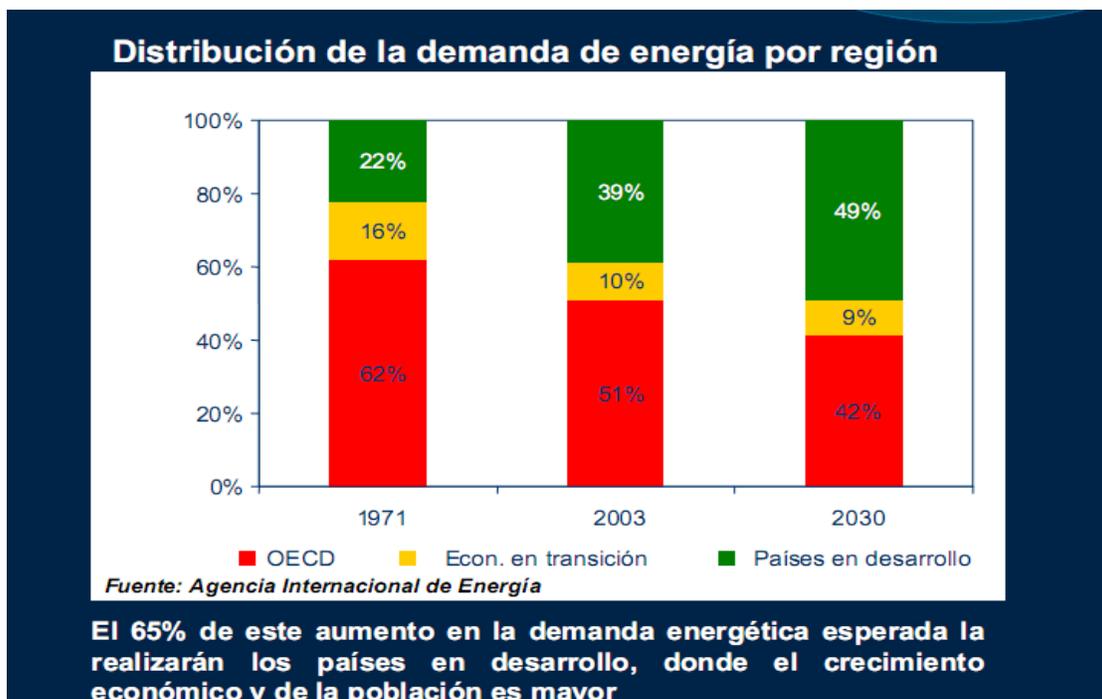


Figura 1.1 Distribución de la Demanda de Energía por Región

La Agencia Internacional de Energía considera que el 83% de la energía que se consumirá en el mundo desde la fecha al 2030, será de petróleo, carbón y gas mostrado en la figura 1.2.

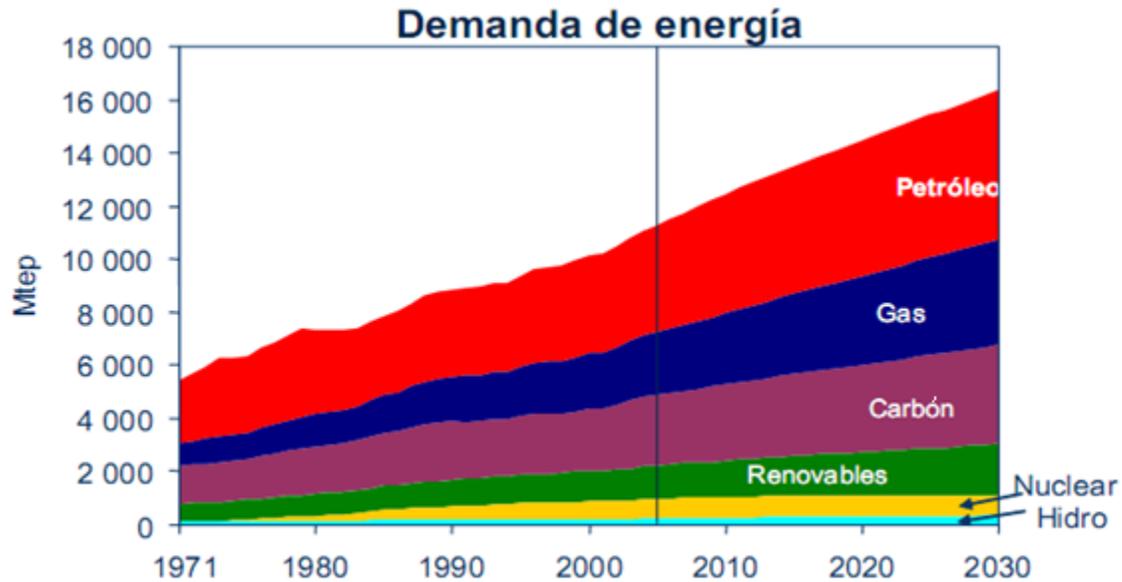


Figura 1.2 . Demanda de energía en el mundo con estimaciones hasta el 2030

## 1.2. Sobreexplotación del planeta

Los grandes responsables de esta situación serían el alto consumo de recursos, la deforestación, el cambio climático, la contaminación medioambiental y la sobrepesca. "Más de tres cuartos de la humanidad vive en países que son deudores ecológicos. Esto quiere decir, que el consumo supera la biocapacidad de estos países", advirtió James P. Leape, director de WWF International (11). La mayor "huella" la tienen Estados Unidos y China.

La "huella ecológica" es una medida compleja del tamaño de la utilización de ecosistemas y especies. Las Cuentas de Huellas de una nación miden el uso y la capacidad ecológica de los recursos nacionales durante el paso del tiempo. De acuerdo con aproximadamente 5 400 puntos de referencias por país por año, las cuentas calculan la huella de 152 naciones a partir de 1961 al presente.

Estas cuentas proporcionan los datos medulares que son necesarios para todo el análisis ecológico de la huella mundial.

La institucionalización de la huella Ecológica a nivel nacional requiere que las oficinas de estadística, los consejeros políticos, la academia, los industriales y empresarios confíen en la metodología y en los datos, que son la base de la huella y que abarcan 150 cuentas de Huellas Nacionales. Aunque estas cuentas proporcionan el indicador agregado más completo de la huella humana actual sobre el ecosistema disponible, las cuentas de muchas naciones solo está en fase de desarrollo.

El actual modelo energético, basado fundamentalmente en la producción de energía a partir de combustibles fósiles, es insostenible en el tiempo por la injusta distribución del acceso a los servicios energéticos por parte de la población; por su dependencia directa de recursos perecederos y limitados; los impactos negativos y daños irreversibles al medio ambiente, generando consecuencias futuras indeterminadas.

### **1.3. Matriz energética mundial**

La estructura de consumo por fuentes energéticas es una de las claves para analizar los retos a los que se enfrenta la humanidad en el futuro. Esta estructura, en la que el petróleo y el resto de combustibles fósiles tienen un peso significativo, queda reflejada en la matriz energética de consumo mundial de energía primaria, mostrada en la figura N° 1.3 (10). Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

A escala mundial, los hidrocarburos aportan más de la mitad de la energía primaria consumida. En particular, el 33% del consumo energético primario global proviene del petróleo, siendo así la fuente energética más utilizada.

Durante los próximos años no se esperan grandes cambios. Según la AIE, en su escenario base del World Energy Outlook de 2011, el petróleo registrará una

contracción de 5 puntos porcentuales en la matriz energética de 2035 respecto a 2009. Por su parte, el gas natural alcanzará una participación del 23% sobre una demanda energética total estimada en 16 961 millones de toneladas equivalentes de petróleo (10) (12).

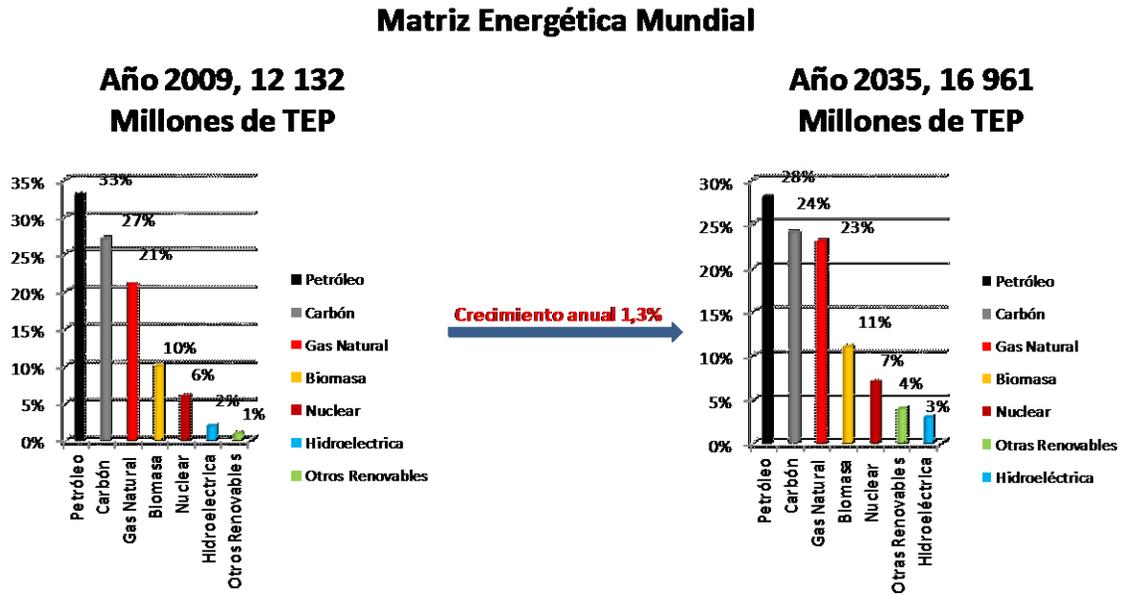


Figura. 1.3 Matriz energética mundial, AEI

Parece no promisor la existencia en el planeta tierra a este ritmo de producción. Esta conjetura de investigación durante el siglo XXI debe hacerse científicamente (13). Si se asume responsablemente el concepto de desarrollo sostenible, esta conjetura es inevitable, no es posible de ninguna manera evitarla. Si no se diseñan un modelo equilibrado para vivir dentro de los medios de nuestro planeta tierra, la sostenibilidad seguirá siendo evasiva.

El sostenido crecimiento del costo de la energía, el agotamiento de los recursos naturales y el deterioro ambiental, han presionado al hombre en su aspecto económico y en el comportamiento social. Igualmente los problemas energéticos se vinculan a la escasez y el encarecimiento de los alimentos.

Toda actividad humana agrede en mayor o menor medida el medio ambiente. La climatización de espacios y en particular la climatización de grandes hoteles representan un área fundamental; en este proceso se utilizan diferentes tecnologías existentes en el mundo (14).

Las vías fundamentales para transformar el esquema energético actual y avanzar hacia el desarrollo sostenible, se enfocan en la introducción de fuentes renovables de energía y el incremento de la eficiencia energética en todos los sectores. La eficiencia energética se convierte en una herramienta rentable en la lucha por alcanzar un futuro energético sostenible y un medio ambiente más saludable. Las mejoras en la eficiencia energética pueden conducir a la reducción de la necesidad de inversión en infraestructura energética, los gastos de combustibles, aumentar la competitividad y mejorar el bienestar de los consumidores (15) (16).

#### **1.4. Venezuela y el uso racional y eficiente de la energía**

Venezuela por su parte, ha realizado iniciativas y actividades en función de lograr la concienciación y un cambio cultural energético, en virtud de darle un uso eficiente y racional a la energía eléctrica. Desde el año 2002 hasta la actualidad y sobre todo desde el año 2006, con el comienzo de la Misión Revolución Energética y los proyectos ejecutados bajo el Convenio de Cooperación Cuba-Venezuela, el Estado viene ejecutando una serie de acciones encaminadas al uso racional y eficiente de la energía. Sin embargo, todas estas acciones fueron actividades aisladas, ejecutadas por varios ministerios y organismos del estado, dificultando así una única política energética que permitiera una importante reducción del consumo de energía eléctrica.

En los últimos dos años la demanda de electricidad en Venezuela se ha incrementado a razón de 7 % interanual, provocado por un excesivo consumo en el área industrial, comercial y residencial y esta cifra sigue aumentando, teniendo como consecuencia un déficit energético inminente.

Por ello, a finales de 2009 y mediados del 2011, el Estado Venezolano implementó una serie de medidas en el campo del sector eléctrico, comenzando con el decreto 6.992 de octubre de 2009 y continuando con las resoluciones 73, 74, 75, 76, 77 y 80 publicadas en la Gaceta Oficial número 39.694 y 39.759 de junio y septiembre del 2011, respectivamente. Con esto se establece un marco jurídico que exige a los sectores públicos, privados y residenciales, la reducción del consumo de energía y la utilización adecuada de la energía eléctrica.

Estas regulaciones establecen la obligatoriedad para las instituciones (tanto del Estado como los entes privados) de conformar, dentro de su estructura de gestión, un grupo que vele por el uso racional y eficiente de la energía; entre ellos se incluyen los sistemas hoteleros de corte turístico (17) (18).

## **1.5. Sistemas de Climatización, antecedentes**

El hombre desde épocas remotas en busca de confort y una temperatura agradable en los lugares donde vivía utilizó varias técnicas aprovechando las diferencias de temperaturas diurnas y nocturnas.

El acondicionamiento de los ambientes se empieza a evidenciar, desde el siglo XIX (año 1842) cuando el científico Lord Kelvin, en busca de un mejor y más sano ambiente, crea el principio del aire acondicionado basándose en la absorción de calor de un gas refrigerante. Para ello se utilizan los tres principios siguientes. 1.- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja, 2.- El cambio de estado del líquido a gas absorbe calor y 3.- La presión y la temperatura se encuentran directamente relacionadas en el cambio de fase (19).

A principios del siglo XX (1902) Willis Haviland Carrier (ingeniero Industrial norteamericano) fija las bases fundamentales para la refrigeración moderna, desarrollando el concepto de refrigeración de verano (19). Posteriormente en 1921, patentó la máquina de refrigeración centrífuga, convirtiéndose en el primer método de acondicionar el aire en grandes espacios, pudiendo controlarse el medio ambiente y hacerse más agradable para la vida y su desarrollo.

## **1.6. Situación actual en los sistemas de climatización en la hotelería.**

Las necesidades de confort humanas se definen en la actualidad a partir de las condiciones de calidad total del ambiente, concepto que engloba factores ergonómicos como: ambiente térmico, calidad del aire interior, ambiente acústico y ambiente luminoso (16).

Los sistemas de climatización se encargan de controlar las variables que definen el ambiente térmico: humedad relativa, temperatura seca y velocidad del aire fundamentalmente así como la calidad del aire interior (renovación del aire, contenido de CO<sub>2</sub>, etc.).

Los sistemas de climatización y ventilación juegan un papel importante en el consumo de energía de los edificios comerciales, residenciales, industriales, etc. Dentro de estos sistemas la mayor demanda de energía está concentrada en la climatización de espacios y la refrigeración (20) (21) (22).

En cualquier caso las instalaciones de climatización constituyen hoy día uno de los equipamientos más importantes de un edificio, por varios motivos:

- En el aspecto de la inversión por el elevado importe económico de la misma, que puede constituir entre un 10 y un 20% del importe del edificio en instalaciones centralizadas en edificios de nueva construcción.
- En el aspecto de la explotación por el importe de su consumo energético que probablemente constituya el más importante de los gastos en energía, mayor que el gasto energético en iluminación y otros consumos eléctricos del edificio.
- En el aspecto de mantenimiento y conservación por la dedicación que exigen, el coste de sus componentes y las necesidades de personal especializado en estas labores.

- En el aspecto funcional por la elevada incidencia que, en la actividad del edificio y de sus usuarios, supone la falta de este servicio en un momento dado (23).

Los sistemas de climatización centralizada, son utilizados en grandes instalaciones, pues resulta más factible centralizar la producción y distribución de frío a los recintos a climatizar, que ubicar unidades independientes en cada uno de ellos.

Uno de los sistemas de climatización centralizada más utilizados en las grandes edificaciones (por ejemplo en el sector salud y hotelero) son los llamados “todo-agua”.

Su principio de funcionamiento se basa en bombear agua helada hacia los locales que se desea climatizar, donde a través de unidades terminales (generalmente del tipo fan-coil), se logra el intercambio de calor entre la carga térmica de los locales y el agua fría, disminuyendo la temperatura del aire dentro de la habitación. Luego el agua retorna a las unidades enfriadoras para disminuir su temperatura de nuevo y reiniciar el ciclo.

La evolución de los costes energéticos, ha hecho que en los hoteles modernos se consideren los aspectos de diseño desde la óptica energética y que este enfoque, de ahorro energético sea compatible con otros factores del diseño como pueden ser los estéticos o el confort.

La primera opción para un buen rendimiento térmico del hotel consiste en tomar las medidas necesarias para reducir las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor en verano, para disminuir, de este modo, la demanda de energía necesaria para el acondicionamiento térmico del edificio. Estas pérdidas de calor van a depender en primer lugar de las características constructivas del edificio.

Una vez construida la edificación e instalado el equipamiento se requiere desarrollar procedimientos y herramientas de control operacional, de acuerdo a las posibilidades específicas que brinden los sistemas existentes.

Dentro de las medidas de control operacional destacan las siguientes:

1. Estrategias de operación y de ocupación de la instalación en función de la carga térmica de los locales climatizados y de los circuitos a que pertenecen.
2. Ajuste de la temperatura del agua helada en dependencia de la carga de refrigeración estimada para cada día.

Esta última medida constituye práctica habitual en las instalaciones hoteleras. Se estima que por cada grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) que se aumente la temperatura del agua helada, se incrementa la eficiencia del chiller de hasta un 4%. Frecuentemente en la operación de estas plantas se mantiene la temperatura del agua helada en un valor fijo, lo que resulta ineficiente para la mayoría de las aplicaciones, donde la carga se comporta por debajo del valor máximo la mayor parte del tiempo.

Al respecto existen numerosos reportes y publicaciones científicas que se refieren a continuación:

El Instituto de Refrigeración Americano (ARI), establece valores de temperatura del agua helada de suministro y retorno para "chillers" de  $6,7^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$  respectivamente para las condiciones de diseño de Norteamérica. Sin embargo, este rango se puede ajustar variando la temperatura de suministro del agua helada en dependencia de la carga térmica de la edificación y las condiciones climáticas imperantes, sin afectar las condiciones de confort (16).

La compañía CARRIER considera el ajuste de la temperatura del agua helada como una estrategia de limitada aplicación, y refiere que aunque se pueden obtener ahorros significativos de energía en sistemas de flujo constante, hay que prestar atención al mantenimiento de las condiciones de confort y el efecto

adverso que la misma tiene sobre el tiempo de trabajo del sistema para vencer una carga de enfriamiento dada, sin dar una solución para ello.

Por su parte el sistema Electra™ contempla (24) realizar el ajuste de la temperatura del agua helada en correspondencia con la variación de la temperatura ambiente, sin pretender optimizar el consumo de energía del sistema.

En el Manual Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) (25), se recomienda un método empírico para establecer la temperatura del agua helada, el cual en esencia, consiste en monitorear la posición de las válvulas que controlan el flujo de agua en las manejadoras de aire críticas e ir aumentando la temperatura del agua helada hasta que estas válvulas alcancen la posición de completamente abiertas. Este método garantiza que no se afecte el confort, pero no asegura que el consumo de energía sea mínimo, ya que considera sólo el efecto de la temperatura del agua helada sobre la potencia consumida por el compresor, sin considerar el incremento del tiempo de operación del sistema.

Wulfinghoff, en su Manual de Eficiencia Energética (26), recomienda mantener la temperatura del agua helada tan alta como sea posible, como un método simple y de bajo o ningún costo para obtener significativos ahorros de energía. Este autor señala como única limitación para ello, la satisfacción de la carga térmica. Establece, además, que el ajuste de la temperatura de trabajo del evaporador, que determina la temperatura del agua helada en el caso de los sistemas de climatización de este tipo, depende de la carga de enfriamiento, de las condiciones climáticas, del diseño del “chiller”, y de la eficiencia de los equipos involucrados en el sistema de enfriamiento. Señala que el reto fundamental lo constituye determinar la temperatura máxima del agua helada para todo el rango de carga térmica, la cual se podría ajustar manual o automáticamente.

Montelie refiere (16), la determinación de esa temperatura a partir de la optimización del consumo energético, considerando variables como las

condiciones climáticas y la ocupación de la instalación. Destaca la utilización de técnicas de inteligencia artificial para el procedimiento de optimización.

Otras técnicas de reducción del consumo energético utilizadas en estas instalaciones son el cambio a flujo variable de la operación de las bombas del circuito primario de agua helada y el empleo de diferentes configuraciones de interconexión para el caso de máquinas múltiples.

Álvarez Guerra y otros (27) realizaron un estudio integral de un hotel en Cuba que incluyó la valoración de 3 proyectos de mejora basados en estas técnicas de reducción del consumo energético de chillers. Refieren ahorros significativos mediante la aplicación de estrategias de operación y ocupación de la instalación y el ajuste de la temperatura del agua helada en dependencia de la carga de refrigeración estimada para cada día, mientras que el cambio a caudal variable de los sistemas de bombeo de los distintos circuitos que componen el sistema de climatización resulta económicamente desfavorable.

Otros estudios consultados se refieren al esquema de interconexión de las enfriadoras en instalaciones con máquinas múltiples, los que se resumen a continuación:

McQuay (28) presenta un resumen de las principales estrategias de operación e interconexión utilizadas en los sistemas de climatización centralizados por agua helada. Se destacan los rangos de valores de algunos parámetros de operación principales así como de diseño de algunos de los componentes del sistema. A pesar de que esta literatura proporciona las principales ventajas para cada alternativa, no recomienda cuál de ellas es la más idónea para satisfacer una capacidad determinada, como tampoco desarrolla un procedimiento para la selección más adecuada de la estrategia de interconexión a utilizar.

En uno de los artículos de divulgación de la Corporación TRANE (29) se describen en detalle las estrategias de interconexión de enfriadoras en serie y en paralelo, así como las distintas alternativas físicas estructurales más utilizadas en este tipo de sistemas y sus parámetros de operación para cada configuración. No se especifica

cuál es la interconexión más recomendable; sin embargo, sugieren el uso de sistemas múltiples de diferentes capacidades como una de las alternativas operacionales más factible a la hora de implementar estrategias de operación para el ahorro de energía.

También en el Manual ASHRAE 2009 (25) se exponen los criterios para la selección del equipamiento de sistemas de climatización centralizados, así como los principales parámetros de trabajo por componentes (compresor, evaporador, condensador). Sin embargo, no se aborda el sistema desde el punto de vista global encaminado a la búsqueda de estrategias físico estructural que garanticen mínimo consumo de potencia para la aplicación que se requiera.

Alfaro Cabrera (30) en su trabajo de diploma describe un procedimiento soportado en ambiente MATLAB para la selección de enfriadoras de agua en base al mínimo consumo para vencer una carga determinada, evaluándose dos alternativas de interconexión serie y paralelo. Utilizando el procedimiento propuesto, realiza un estudio con el objetivo de comprobar si la interconexión de las enfriadoras que operan en un hotel, garantiza el mínimo consumo de potencia para la carga térmica a vencer definida por diseño. Propone y evalúa una nueva estrategia físico-estructural que permite reducir los consumos energéticos en un 2,24 %. Como limitación puede señalarse que sólo se refiere a enfriadoras de determinada marca comercial, pero su valor metodológico es innegable.

Royal Roy Young (31) también refiere un estudio comparativo de configuraciones de interconexión en sistemas de climatización centralizada. Mediante técnicas de simulación se analizan configuraciones de conexión de las enfriadoras en serie y paralelo, cubriendo así la mayoría de los sistemas existentes. El modelo obtenido permite el cálculo de los principales índices que evalúan el funcionamiento y eficiencia energética de estos sistemas y a partir de ello, identificar las ventajas y desventajas de cada configuración de acuerdo con la situación operativa correspondiente.

## Conclusiones parciales

- Las vías fundamentales para transformar el esquema energético actual y avanzar hacia el desarrollo sostenible, se enfocan en la introducción de fuentes renovables de energía y el incremento de la eficiencia energética en todos los sectores.
- La eficiencia energética se convierte en una herramienta rentable en la lucha por alcanzar un futuro energético sostenible y un medio ambiente más saludable. Las mejoras en la eficiencia energética pueden conducir a la reducción de la necesidad de inversión en infraestructura energética, los gastos de combustibles, aumentar la competitividad y mejorar el bienestar de los consumidores.
- En Venezuela se vienen ejecutando una serie de acciones encaminadas al uso racional y eficiente de la energía, que comprenden diferentes programas y acciones coordinadas por entes como el MPPEE y CORPOELEC. Entre ellas se encuentra la primera fase de supervisión a los usuarios con consumos mayores a 25 kVA, la tercera etapa de la campaña de sustitución de bombillos incandescente por ahorradores y la implementación del uso racional de la energía en los programas de educación.
- Los sistemas de climatización y ventilación juegan un papel importante en el consumo de energía de los edificios comerciales como los hoteles. Dentro de estos sistemas la mayor demanda de energía está concentrada en los sistemas de climatización centralizada tipo agua helada.
- Para la reducción del consumo energético en instalaciones de climatización centralizada se refieren como principales estrategias operacionales: la operación y ocupación de la instalación en función de la carga térmica de los locales climatizados y de los circuitos a que pertenecen, el ajuste de la temperatura del agua helada en dependencia de la carga de refrigeración estimada para cada día y el cambio a flujo variable de los sistemas de bombeo.

## **CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL HOTEL VENETUR ALBA CARACAS**

## **CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL HOTEL VENETUR ALBA CARACAS**

### **2.1. Descripción del hotel**

El conjunto hotelero del anterior "Caracas Hilton" y actual "Venetur Alba Caracas" se encuentra ubicado de la ciudad de Caracas Distrito Capital de la Republica Bolivariana de Venezuela (figura 2.1), ostenta la categoría de cinco estrellas; está conforma por una agrupación de edificaciones donde se destacan especialmente dos (2) edificios, las cuales corresponden a los cuerpos de habitaciones denominados: Torre Norte, con 26 pisos, 450 habitaciones y 30 053,66 m<sup>2</sup> y Torre Sur, con 15 pisos, 330 habitaciones y 25 856,25 m<sup>2</sup>.

Ambas se localizan sobre un cuerpo único de planta baja, que conecta todo el complejo y donde se ubican la mayoría de los servicios conexos del hotel (lobby, recepción, galería de comercios, restaurantes, cafeterías, salón de banquetes y reuniones, etc.).

En los sótanos uno (1) y dos (2) de la Torre Norte, se ubican los estacionamientos con una capacidad de 460 puestos. Adicionalmente en el sótano uno (1), se encuentra la mayoría de los servicios complementarios y generales. En el sótano dos (2), se sitúan también las áreas destinadas a mantenimiento, talleres, salas de máquinas y depósitos. Todo el conjunto hotelero tiene un área estimada de construcción de 81 517,43 m<sup>2</sup>, de ellos 11 005,16 m<sup>2</sup> en superficie techada y 13 124,64 m<sup>2</sup> de áreas exteriores.



Figura 2.1. Vista panorámica del hotel Venetur Alba Caracas

## **2.2. Caracterización de los sistemas energéticos del hotel.**

La caracterización de los sistemas consumidores de energía del Hotel Venetur Alba Caracas se realizó a partir de un diagnóstico energético por las instituciones “La Electricidad de Caracas” (EDC) actualmente Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), la “Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico” (FUNDELEC) y con la colaboración de personal del hotel.

El estudio abarcó la realización de un censo de cargas eléctricas (anexo 1), estudio termográfico y mediciones de parámetros eléctricos, tales como: potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, corriente, voltaje y armónicos de diferentes órdenes.

Durante el recorrido general se ubicó la sala de lavandería que cuenta con equipos trabajando con energía eléctrica y otros con energía térmica (vapor), dos generadores de energía eléctrica para usar en caso que falte el servicio eléctrico de la red nacional y dos generadores de vapor de 149 kW (200 HP), de los cuales uno es de reserva. Estos generadores de vapor surten la demanda de vapor a la tintorería, cocinas, y calentadores de agua utilizados para preparar el agua que se sirve en las áreas de servicio y habitaciones

El sistema eléctrico está conformado por dos subestaciones en dos salas de máquinas ubicadas en los sótanos, la número uno ubicada en la Torre Sur y la número dos en la Torre Norte. También se encuentran instaladas, en los sótanos, las salas de unidades manejadoras de aire (UMA) para los salones, habitaciones y locales comerciales.

Con la intención de determinar los elementos con posibles potencialidades de ahorro energético, se realizó un censo de carga (anexo 1). La figura 2.2 presenta el diagrama de Pareto que muestra la distribución general de las distintas cargas eléctricas del hotel; apreciándose el mayor consumo en el sistema de acondicionamiento de aire o sistema de climatización. Esta distribución evidencia la necesidad de realizar un estudio detallado de las cargas en el sistema de climatización.

### 2.2.1. Sistema de climatización

El hotel Venetur Alba Caracas cuenta con un sistema de climatización centralizado, conformado por: una enfriadora de agua (chiller), sistemas de distribución de agua helada (cinco bombas de agua helada, cinco bombas de agua de condensación), 44 unidades manejadoras de aire (UMA), 800 fancoils y cuatro torres de enfriamiento.

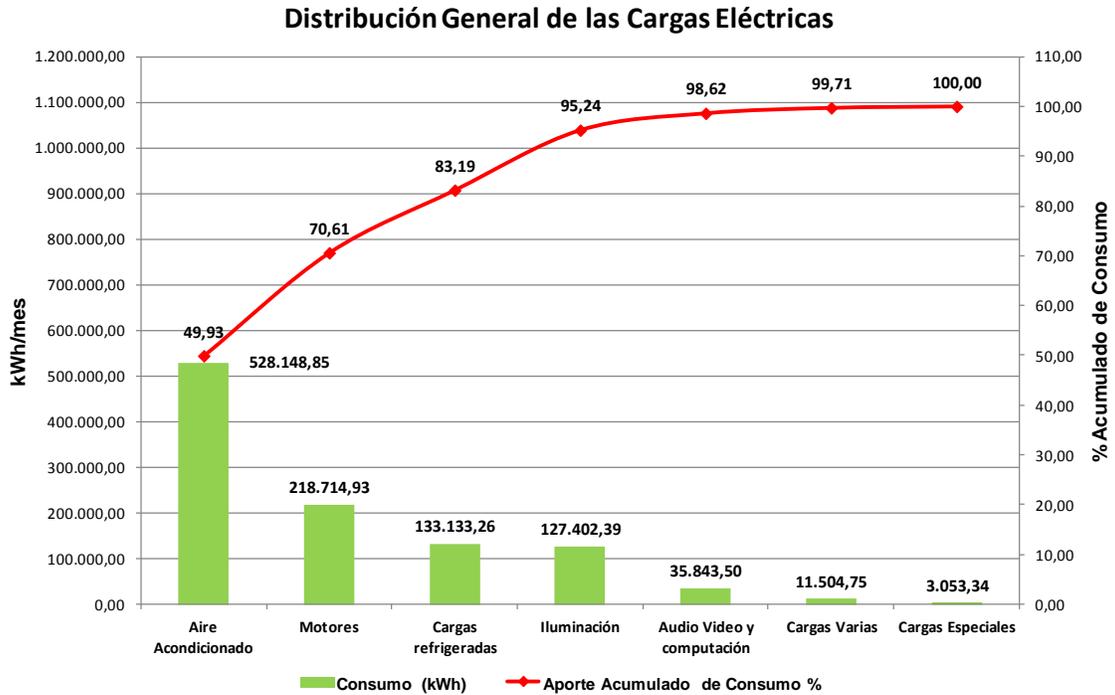


Figura 2.2. Distribución General de las Cargas Eléctricas

Todo el conjunto es responsable de climatizar 450 habitaciones en la Torre Norte y 330 en la Torre Sur, distribuida: 630 estándares, 90 ejecutivas, 25 suites y 35 salones (entre ellos el Salón Bicentenario que puede acoger 3 000 personas a la vez). Así como diferentes áreas comunes como lobby, comercios, restaurantes y cafetines.

El sistema es de circuito cerrado a presión constante. Además existen 30 habitaciones y algunos locales de servicios que son acondicionados por máquinas de expansión directa tipo split y de ventana.

El mayor consumidor de energía eléctrica del sistema de climatización lo representa el generador de frío o chiller, como se representa en el diagrama de Pareto, Fig. 2.3.

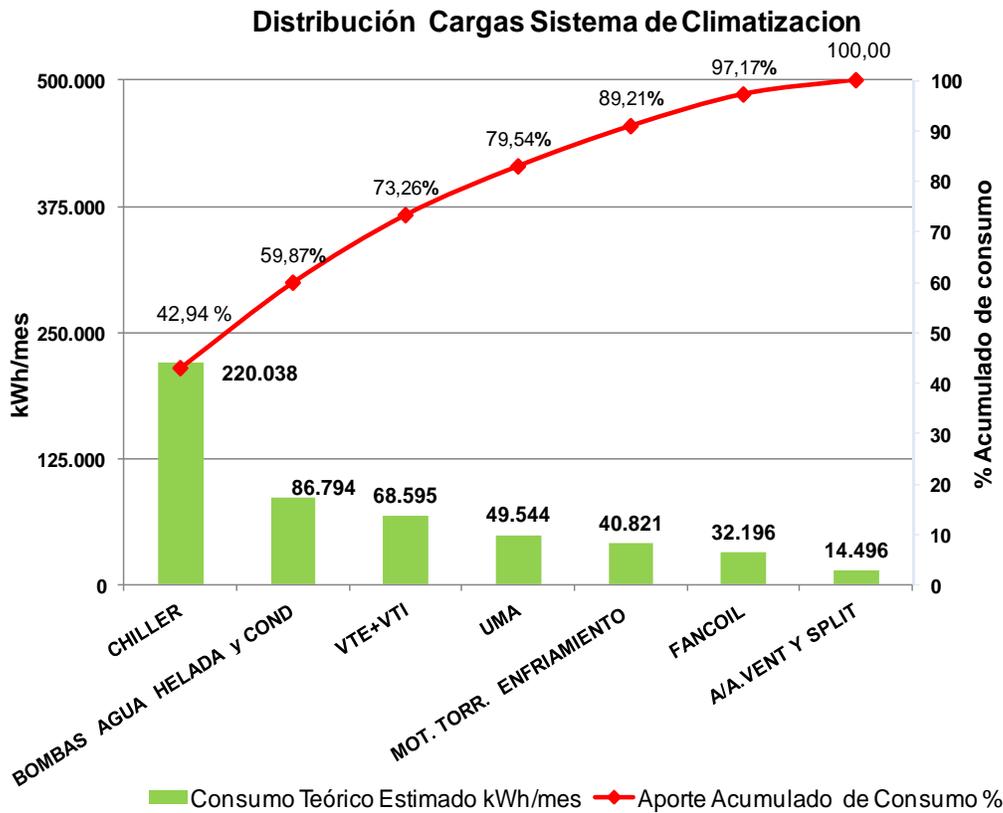


Figura N° 2.3. Distribución del consumo de electricidad del sistema de climatización

En la tabla 2.1 se muestran las principales características del chiller, las unidades manejadoras de aire (UMA) y fancoil.

Al igual que en otros hoteles de la categoría del Venetur Alba Caracas, la climatización se realiza por zonas independientes que se clasifican en zonas individuales como habitaciones, tiendas, y zonas comunes como lobby, salones, salas de conferencia, cafeterías, comedores y gimnasios.

En el sistema de climatización centralizado del hotel no todas las áreas están supervisadas y controladas por un puesto de control central que actúa sobre

controladores distribuidos en las diferentes unidades tanto terminales periféricas como las ubicadas en la sala de máquinas; sino que algunas zonas son climatizadas con unidades manejadoras de aire (UMA) operadas manualmente por un operador de acuerdo a la necesidad.

Tabla 3.1 Características del sistema centralizado de climatización				
Suministrador	TRANE	Modelo		CVEH710
Serial N°	L93Be1826	Voltaje		460 V
Frecuencia	60 Hz	Fase		3 F
Voltaje de operación	414 V a 506 V	Corriente		687 Amper
Potencia	453 kW			
Refrigerante	R123			
Bomba de aceite	1/4 hp	Fase		1 F
Motor compresor				
Frecuencia	60 Hz	Fase		3 F
Voltaje	460 V	Corriente de carga nominal (RLA)		544 Amper
Unidad manejadora de aire (UMA)				
Frecuencia Hz	Corriente (Amper)	Voltaje (Voltios)	Suministrador	Fase
60	11	460	TRANE	3
60	7,9	460	Marathon.	3
60	4,8	460	TRANE	3
60	4,5	460	TRANE	3
60	2,8	460	General Electric	3
60	1,7	460	General Electric	3
60	23	440		3
60	18,1	440		3
60	14	440	Brook Motor.	3
60	9	440		3
60	7,1	440	TRANE	3
60	6,8	440		3
60	6,6	440		3
60	2	440		3
60	20,6	220	General Electric	3
60	15,7	220	General Electric	3
60	12,5	220	Carrier	3
60	8,6	220	General Electric	3
60	4,8	220	Siemens	3
60	7	115	TRANE	1
60	5,8	115	TRANE	1
60	4,9	115	TRANE	1
60	2,8	115	TRANE	1
Fan coil				
Frecuencia	60 Hz	Fase	1 F	
Voltaje	120 V	Potencia	0,25 hp	

Una representación monolineal del sistema de climatización centralizado se muestra en la figura 2.4. El ciclo del refrigerante se indica como lazo chiller y

está conformado por: condensador, válvula de expansión evaporador y compresor.

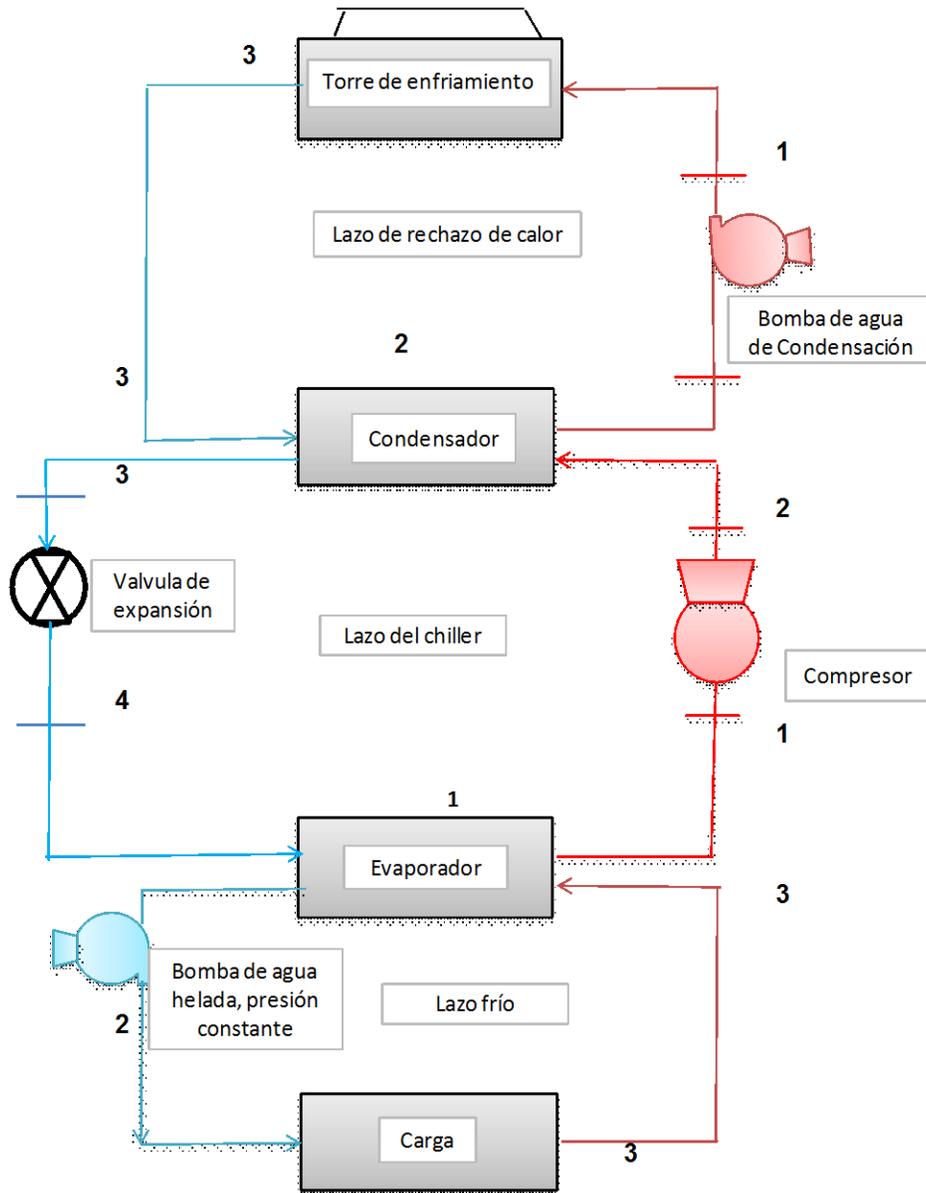


Figura 2.4. Diagrama simplificado de climatización centralizada del hotel

El lazo frío o del área climatizada lo conforman: el evaporador, las bombas de agua helada y la carga a climatizar, funcionando de la manera siguiente:

1. El evaporador donde el líquido refrigerante absorbe calor del agua dándole una temperatura adecuada para cubrir la demanda.
2. Las bombas que envían el agua helada a las áreas servidas y las hacen circular por el chiller o enfriador.
3. Cierre del ciclo, retorno del agua desde las áreas climatizadas al evaporador.

El lazo del agua de refrigeración al condensador, denominado rechazo de calor, está constituido por bombas de agua de condensación, torre de enfriamiento y el condensador, que operan conjuntamente así:

1. Las bombas de agua de condensación, envían el agua a la torre de enfriamiento donde cede calor al ambiente.
2. En el condensador se realiza el rechazo de calor del ciclo de refrigeración al agua de condensación.
3. La torre de enfriamiento enfría el agua de condensación a partir del intercambio de calor con el aire ambiente.

Para la evaluación del chiller se realizaron las siguientes mediciones:

Tabla 2.2 Datos de funcionamiento actual del chiller

Código Pizarra	Parámetro	Valor
<b>D</b>	Demanda	100 % carga
<b>E</b>	Temp. Agua entrada evaporador	279,26 K (43 °F),(6,11°C)
<b>F</b>	Temp. Agua salida evaporador	287,71 K (42 °F),(5,55°C)
<b>H</b>	Temp. Agua entrada condensador	310,15 K (98 °F),(37°C)
<b>I</b>	Temp. Agua salida condensador	311,15 K (100,4 °F),(38°C)

Rango del set point agua helada:

Mínimo 275.93 K (2,78 °C) (37°F)

Máximo: 288.71 K (15,56°C) (60°F)

El refrigerante, utilizado por el chiller es R123, que no es otra cosa que el Dichlorotrifluoroethane. La presión en el evaporador es de 55 kPa (vacío) equivalentes 54.18 kPa (abs). La presión en el condensador es de 14 psi (man.) equivalentes a 1,96 bar (abs).

La Figura 2.5 muestra los resultados de la simulación del chiller utilizando el software Coolpack (32).

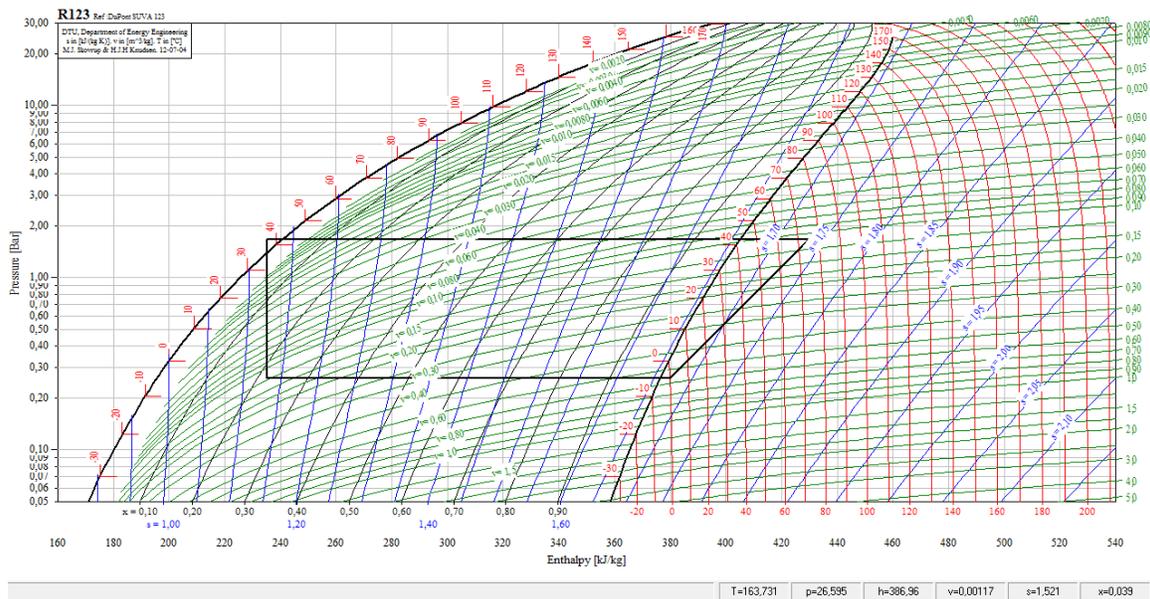


Figura 2.5. Ciclo de trabajo actual del refrigerante en el chiller

Mediante la simulación se evaluó la eficiencia del chiller medida en términos del COP como 4,26. Este valor es bajo respecto a los valores que obtienen máquinas modernas de este tipo. Ello es debido a su largo periodo de operación (40 años), estado técnico deficiente e intensiva explotación (trabajo continuo los 365 días del año, 24 horas, sin respaldo).

De acuerdo con lo establecido por el Instituto de Refrigeración Americano (ARI) y los valores indicados en la tabla 2.2, el chiller está trabajando con un valor de la temperatura del agua helada bajo (límite inferior del rango recomendado).

Esto establece que hay una oportunidad de disminuir el consumo energético ajustando este valor de temperatura del agua.

## 2.2.2. Sistema de bombeo de agua helada y de condensación

El hotel dispone de un sistema de bombeo de agua de condensación y agua helada conformado por dos baterías de cinco motores cada una conectados en paralelo, cuyas características se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Características técnicas de los motores instalados en el sistema de agua helada.

<b>DATOS CARACTERÍSTICOS DE PLACA, MOTOR PARA MOVER BOMBA QUE TRANSPORTA LA MASA DE AGUA HELADA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL HOTEL VENETUR ALBA CARACAS</b>					
<b>MARCA</b>	LINCOLN	LINCGUARD		<b>CODIGO:</b>	TV2658-A1
	AC Motor	<b>Dripproof</b>	FRAME 365T	<b>SERIAL:</b>	2568873
		<b>RPM</b>	1775	<b>INS:</b>	B
<b>HP:</b>	75	<b>cos</b>	0,85	<b>MAX AMB</b>	40 °C
<b>VOLTAJE</b>	<b>230/460</b>	<b>AMPER</b>	<b>192/96</b>	<b>FREQUENCY:</b>	<b>60 Hertz</b>
<b>TIME RANGO:</b>	CONTINUO	<b>NEMA NOMINAL</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>92,4</b>	
<b>NEMA CODE:</b>	F	<b>NEMA DESIGN:</b>	B	<b>MADE IN USA</b>	

En la Figura 2.6 se muestra el esquema de las diferentes modalidades de conexiones operativas del motor.

Las mediciones necesarias para el análisis de cargabilidad del motor se llevaron a cabo con un analizador de redes C.A 83334B Chauvin Arnoux, conectado en la pizarra de control. Con este instrumento se registraron los valores de las tensiones de línea, las corrientes y el factor de potencia por fase. Una muestra

de estas mediciones se aprecia en la Tabla 2.4 y todos los datos se muestran en el anexo 5.

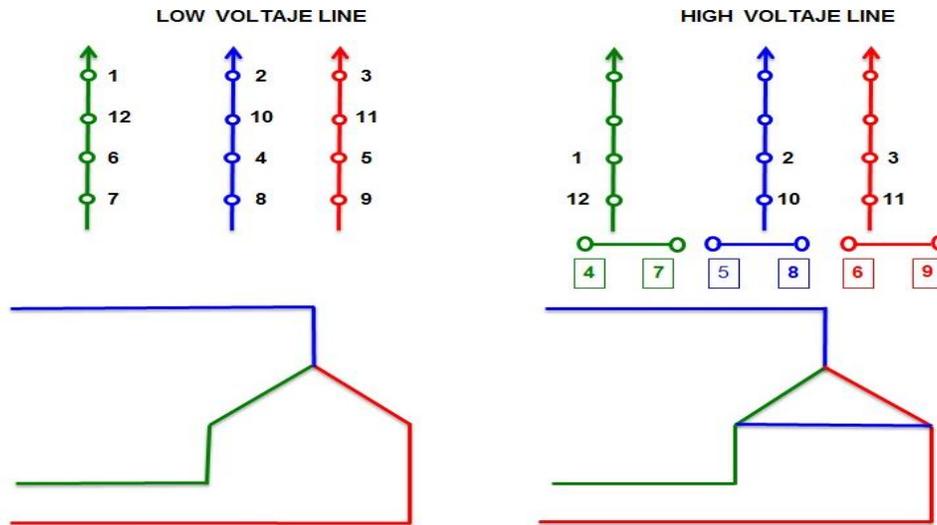


Figura 2.6. Esquema de conexión y operación del motor que impulsa la bomba de agua helada o condensación

Tabla 2.4 Valores promedio de las mediciones realizadas

Voltaje (V)	Corriente (A)	Factor de potencia ( $\cos\phi$ )
Vab = 460,2	la = 62,2	0,763
Vbc = 463,1	lb = 62,8	0,737
Vac = 461,2	lc = 66	0,754
<b>Valor promedio = 461,5</b>	<b>Valor promedio = 63,7</b>	<b>Valor promedio (<math>\cos\phi</math>) = 0,751</b>

La potencia eléctrica de entrada que demanda el motor en las condiciones actuales se calcula como: (33)

$$P_{entrada} = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos \alpha}{1000} (kW) \quad (3.1)$$

Donde: V es la tensión de línea promedio, en V; I es la corriente de línea promedio, en A y  $\cos \phi$  es el factor de potencia promedio.

Para el caso analizado

$$P_{entrada} = 38,23 \text{ kW}$$

Con el valor de placa de potencia del motor, 75 HP, se calcula la **potencia de entrada nominal** dividiendo el valor de potencia nominal por la eficiencia nominal del motor, o sea:

$$P_{entrada_{nom}} = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{75 \text{ HP} \cdot 0,746 \frac{\text{kW}}{\text{HP}}}{0,924} = 60,53 \text{ kW}$$

El factor de carga del motor se calcula como la relación por cociente entre la potencia de entrada y la potencia de entrada para condiciones nominales o sea:

$$k_c = \frac{P_{entrada}}{P_{entrada_{nom}}} = \frac{38,23 \text{ kW}}{60,53 \text{ kW}} \cdot 100\% = 63,15\%$$

Cuando un motor estándar trabaja a una carga diferente de la nominal se producen variaciones en la eficiencia. De acuerdo con la información de diferentes fabricantes (34) (33) se sabe que la mayor eficiencia de un motor, se obtiene cuando el factor de carga se encuentra alrededor de 75% ó mayor

Actualmente el motor está trabajando con un factor de carga inferior a lo establecido; por tanto opera con una eficiencia menor que la nominal, que se desconoce y, por tanto es necesario calcular para determinar si hay una oportunidad de ahorro energético.

Para calcular la potencia que demanda la bomba en estas condiciones, o sea, la potencia desarrollada por el motor, es necesario determinar la eficiencia operacional al factor de carga real (63,15%). Para esto se necesita conocer la curva de eficiencia dada por el fabricante. Como no se dispone de esta información se estimará dicha curva por el método propuesto por los doctores: Percy Viego y otros que se describe a continuación (35).

### 2.2.2.1. Estimado de la eficiencia del motor a cargas parciales.

En (Suisky, 1990) (36) se plantea que la eficiencia a cualquier estado de carga puede estimarse con la expresión (3.2) como:

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{100}{\eta_n} - 1\right) \cdot \frac{\frac{x}{Kc} + Kc}{x + 1}} \quad (\%) \quad (2.2)$$

Donde:  $\eta_n$ , es la eficiencia nominal del motor (%);  $x$ , coeficiente que caracteriza la relación entre las pérdidas constantes y las pérdidas variables y que numéricamente es igual a:

$$x = \frac{P_o}{\Delta P_1 - P_o} \quad (2.3)$$

Donde:  $P_o$ , valor de las pérdidas en vacío (W);  $\Delta P_1$ , pérdidas totales con carga nominal (W).

y:

$$\Delta P_1 = \left(\frac{100}{\eta_n} - 1\right) \cdot P_n \quad (W) \quad (2.4)$$

De lo anterior se deriva que para calcular la eficiencia por medio de la ecuación (3.2) hay que añadir, a los datos de catálogo o de placa, el conocimiento adicional del coeficiente de pérdidas  $x$  o las pérdidas en vacío  $P_o$ .

Como en las condiciones de campo existentes no fue posible realizar una prueba en vacío para conocer  $P_o$ , se parte del cálculo de la potencia de entrada al rotor,  $P_{em}$ , mediante la ecuación (3.5) para la potencia nominal,  $P_n$ , como:

$$P_{em} = \frac{P_n}{(1 - s_n)} \quad (\text{W}) \quad (2.5)$$

Donde:  $P_n$ , potencia nominal de salida (W) y  $s_n$  es el deslizamiento nominal.

Utilizando (3.6) se calculan las pérdidas de cobre nominales del rotor:

$$P_{cu_2} = \frac{P_n}{(1 - s_n)} \cdot s_n \quad (\text{W}) \quad (2.6)$$

Las pérdidas en vacío se calculan por (3.7) asumiendo las pérdidas de cobre del rotor igual a las del estator, como se considera en otros cálculos aproximados, de manera que:

$$P_o \approx \frac{P_n}{\eta_n} - \frac{P_n}{(1 - s_n)} - \frac{P_n \cdot s_n}{(1 - s_n)} \quad (\text{W}) \quad (2.7)$$

Sustituyendo (3.7) y (3.4) en (3.3) y haciendo

$$\zeta = \frac{1 + s_n}{1 - s_n}$$

se obtiene:

$$x \approx \frac{\frac{1}{\eta_n} - \zeta}{\zeta - 1} \quad (2.8)$$

Con este valor de  $x$  se calcula la eficiencia utilizando la ecuación (3.2). En este caso, los datos necesarios han quedado reducidos a valores de placa o de catálogo, sin que sea necesario tener el valor de  $P_o$ .

Aplicando esta metodología se calculó la eficiencia del motor para  $k_c = 63,15 \%$ . El resultado obtenido es  $\eta_{63,15\%} = 90,63 \%$ . Una representación grafica de esto se muestra en la figura 2.7

### 2.2.2.2. Cálculo de la potencia de salida

La potencia de salida (35) se calcula ahora a partir de la potencia de entrada y con la eficiencia estimada o sea:

$$P_{\text{salida}} = P_{\text{entrada}} \cdot \eta_{63,15\%} = 38,23 \text{ kW} \cdot 0,9063 = 34,64 \text{ kW}$$

A partir de estos valores calculados es posible construir la curva de funcionamiento y observar el nivel de eficiencia del motor actual tal como se muestra en la figura 2.7.

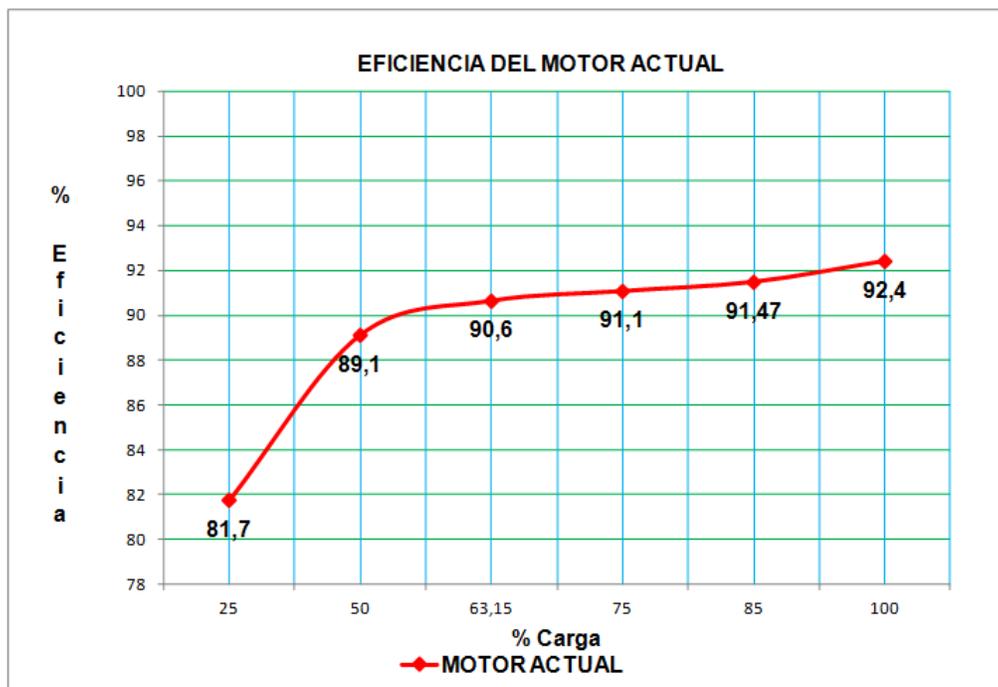


Figura 2.7. Eficiencia motor actual

Como se observa en la gráfica 2.6 la eficiencia real del motor en las condiciones de explotación actuales es de 90,06 %, inferior en un 1,8 % del valor nominal. El motor está sobredimensionado, lo que contribuye a una explotación ineficiente del mismo.

### **2.3. Identificación de las potencialidades de ahorro de energía**

Se identifican dos potenciales principales de ahorro de energía:

- 1.- Ajuste de la temperatura del agua helada del chiller, ya que de acuerdo con el Instituto de Refrigeración Americano este parámetro está fijado en valores bajos.
- 2.- Sustitución de motores de bombas sobredimensionados; debido a su bajo factor de carga y eficiencia de trabajo, de acuerdo con la información de los fabricantes de motores.

### **Conclusiones parciales**

1. La caracterización de los sistemas consumidores de energía eléctrica del hotel Venetur Alba Caracas muestra que el sistema de climatización es el mayor consumidor con el 49,93 % del total, seguido por los motores eléctricos con el 20,68 % y las cargas refrigeradas con el 12,58 %. En su conjunto estos tres sistemas representan el 83,19 % de la instalación.
2. El diagrama de Pareto del sistema de climatización muestra a la enfriadora de agua (chiller) como el mayor consumidor (42,94 %), seguido por los motores accionadores de las bombas de agua helada y de condensación con el 16,93 % y los ventiladores de extracción e inyección (VTE + VTI) con el 13,39 %, por lo que la operación eficiente del chiller resulta determinante en los resultados de la instalación en su conjunto y constituye el punto focal de la investigación.
3. En concordancia con los estudios realizados se identifican dos oportunidades de ahorro energético principales: el ajuste de la temperatura

del agua helada y la sustitución de motores ineficientes por otros de eficiencia superior para accionar las bombas de agua helada y de condensación.

## **CAPÍTULO III. PROYECTO DE MEJORAS ENERGÉTICAS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN**

## **CAPÍTULO III. PROYECTO DE MEJORAS ENERGÉTICAS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.**

Los resultados del diagnóstico energético mostrados en el capítulo anterior demostraron que el sistema de climatización centralizada es el mayor consumidor de energía eléctrica del hotel y dentro de este la enfriadora de agua o chiller (42,94 %).

Para reducir el consumo de energía eléctrica, se requiere entonces desarrollar procedimientos y herramientas de control operacional, de acuerdo a la posibilidad específica que brindan los subsistemas que lo conforman.

Se trabajan en este capítulo dos proyectos fundamentales para el ahorro energético:

3.1.- Ajuste de la temperatura de consigna del agua helada del chiller y

3.2.- Sustitución de motores sobredimensionados por motores más eficientes.

### **3.1. Ajuste de la temperatura de consigna del agua helada**

Una de las variables que mayor influencia tiene sobre el consumo de energía de un sistema de climatización todo - agua es la temperatura del agua helada que sale del chiller y que se distribuye en las áreas y locales a climatizar (37) (38) (39). Una mayor temperatura del agua helada conlleva, por una parte, a la elevación de la temperatura y presión en el evaporador, y por consecuencia, a la reducción de la potencia demandada por el compresor. Pero por otra parte, una mayor temperatura del agua helada extenderá el tiempo de trabajo del sistema, necesario para vencer la carga de enfriamiento dada; por lo tanto, tenderá a incrementar el consumo de energía de los compresores, bombas de agua y ventiladores de las manejadoras (37).

El uso de esta estrategia requiere de un especial cuidado debido a que un excesivo aumento en la temperatura de suministro del agua helada puede provocar que no se alcancen las condiciones de temperatura y humedad del aire

en los locales climatizados, afectando las condiciones de confort y tampoco se logre el ahorro previsto (39)

En la literatura actual no se encuentran métodos precisos para establecer el valor de la temperatura del agua helada que asegure un menor consumo de energía, tomando en consideración la carga que demanda el compresor, el tiempo de trabajo de todo el sistema para alcanzar o vencer la carga térmica de enfriamiento, así como las condiciones del aire exterior. Por ello resulta necesario recurrir a métodos experimentales.

Conocidas las características y modalidades de operación habituales del sistema de climatización centralizada del hotel Alba Caracas se organizó un experimento de la siguiente forma:

Selección de habitación tipo: la habitación seleccionada está ubicada en el lado sureste del hotel y tiene un área de 73,5 m<sup>2</sup> área de ventana y balcón 24,15 m<sup>2</sup>. Por sus dimensiones es una de las habitaciones de mayor demanda de carga térmica.

Variable a controlar:

- Temperatura del agua helada a través del ajuste del setpoint del chiller. Máximo valor permitido 279,82 K (44°F) (6,67 °C).

Mediciones efectuadas:

- Potencia demandada por el chiller.
- Potencia demandada por las bombas de agua helada y de condensación.

Instrumentación utilizada:

- Analizador de red eléctrica trifásico C.A 8334B, Chauvin Arnoux con categoría de instalación según CEI 664-1 y precisión de conformidad con las normas internacionales: NF EN601010-1:2001, NF EN 61236-1, CEI 1000-4-2, CEI 1000-4-3 y otras CEI 1000-4-5, CEI 1000-4-6, CEI 1000-4-11.

- Termohigrómetro: Testo 174H, tipo sonda con sensor de temperatura NTC (Negative Temperature Coefficient) y sensor de humedad capacitivo interno, con rango de medición para humedad relativa (Hr) de 0 a 100 % sin condensación, exactitud o precisión de humedad  $\pm 3\%$  en el rango de 2 % Hr a 98 % Hr y resolución de 0,1 %. El rango de medición para temperatura es de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  con exactitud  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y resolución de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Se efectuaron dos experimentos correspondientes a diferentes valores de la temperatura de agua helada:

1. Case base: temperatura consigna chiller 279,26 K ( $43\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
2. Caso estudio: temperatura consigna chiller 279,83 K ( $44\text{ }^{\circ}\text{F}$ )

No fue posible realizar otros experimentos por limitaciones de operación del chiller. Como se explicó anteriormente este equipo no tiene respaldo y opera en las condiciones extremas de carga.

La totalidad de los datos registrados se encuentran en los anexos 2, 3, 4 y 5.

En la tabla 3.3 se presentan los valores máximos, mínimos y promedios de las mediciones registradas por el termohigrómetro durante el caso estudio. En la figura 3.2. se muestran gráficamente las variaciones de temperatura y humedad relativa, ocurridas durante el periodo de medición caso estudio.

Tabla 3.3. Resumen de mediciones con el termohigrómetro

Nombre del instrumento:	Data Loggers testo 174H	08/05/2012 11:58:55 a.m.		Página 1/1
Hora de inicio: 09/07/2011 08:29:00 p.m.		Mínimo	Máximo	Promedio
Hora de fin: 16/07/2011 02:29:00 p.m.	Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]	22,8	31,6	24,56
Canales de medición: 2	Humedad relativa(2) [%Hr]	48,3	80,3	55,44
Vista med.: 973				
36613102				

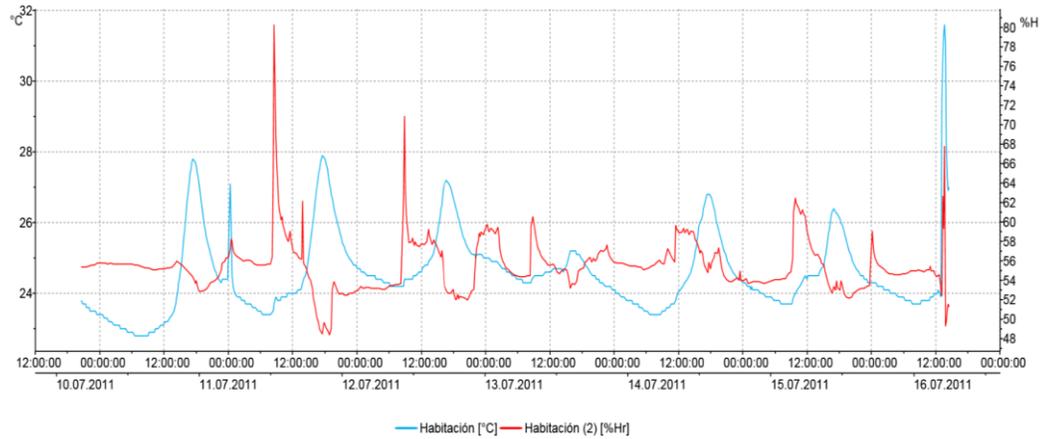


Figura 3.1. Temperatura y humedad relativa en la habitación más cálida

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2

Tabla 3.2. Valores promedio obtenidos durante dos periodos medidos

casos	Temperatura exterior	Temperatura Promedio Habitación	Humedad Relativa Hr, Promedio Habitación	Potencia demandada por el Chiller kW
Caso base	300,15 K (27 °C)	296,01 K (22,86° C)	58,83 %	393
Caso estudio	300,15 K (27 °C)	297,71 K (24,56 °C)	55,44 %	381

**COMPARACIÓN DEMANDA DEL CHILLER CASO BASE RESPECTO CASO ESTUDIO**

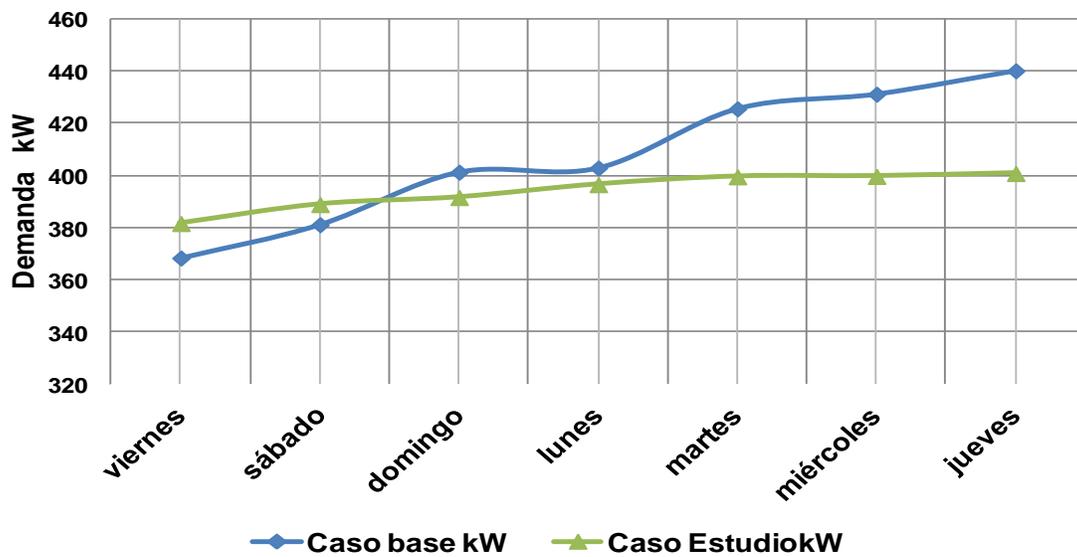


Figura 3.1. Demanda diaria del chiller durante dos periodos

En la figura 3.1 se muestra una comparación del comportamiento de la demanda del chiller durante dos periodos de medición. En la misma se pueden apreciar diferencias en la potencia demandada, lo que está en concordancia con las premisas de la investigación.

En la tabla 3.4, se presentan las diferencias de comportamiento entre caso base y caso estudio: temperaturas, potencia demandada (kW), energía consumida (kWh), el costo en bolívares, barriles de petróleo consumidos, costo en dólares americanos (\$) y kilogramos de dióxido de carbono emitidos. Todos estos valores fueron calculados para un año de operación.

Tabla 3.4. Evaluación económica y ambiental preliminar

Casos	Temperatura del agua helada	Potencia kW	Energía consumida kWh	Costo en Bs	Barriles petróleo consumidos	Costo barriles de petróleo \$	Kilogramos de CO2 emitidos	Paridad Bolívar dólar	Kilogramos de CO2 emitidos por 1 kWh producido con fuel oil	Precio barril \$92,06 (19/06/2012)
<b>Caso base</b>	279,26 K (43°F)	393	3 442 680	155 812,25	6 214,64	572 119,97	683 708,67	4,30	0,1985978	92,06
<b>Caso estudio</b>	279,82 K (44°F)	381	3 337 560	151 054,63	6 024,88	554 650,65	662 832,07			
<b>Diferencia</b>	255,93 K (1°F)	12	105 120	4 757,63	189,76	17 469,32	20 876,6			

De acuerdo con los datos obtenidos de la CORPORACIÓN ELÉCTRICA VENEZOLANA, para producir un kWh se utilizan 0,2870 lts de fuel oil N° 6 (Petróleo) equivalentes a 0,001805 Barriles de petróleo USA

Casos	kWh	Lts		Lts/kWh		Barriles de Petróleo USA (BP USA)
	1	0,28703857				
<b>Caso base</b>	3 442 680	X1	X1=	988 181,93	X1=	6 215,48
<b>Caso estudio</b>	3 337 560	X2	X2=	958 008,44	X2=	6 025,69
<b>Diferencia</b>	105 120	X3	X3	30 173,49	X3=	189,79

Como resultado principal se obtiene una reducción del consumo eléctrico anual de 105 120 kWh.

### 3.2. Sustitución de motores sobredimensionados

Este proyecto versa sobre la selección de un motor más eficiente y ajustado a la carga real para sustituir el o los motores instalados utilizados actualmente en el bombeo de agua helada y agua de condensación del sistema de climatización del Hotel Venetur Alba Caracas.

El hotel dispone de un sistema de bombeo conformado por dos baterías de cinco motores cada una, conectadas en paralelo para mover las bombas de agua helada y de agua de condensación.

De los 10 motores instalados, ocho son similares y corresponden al modelo analizado en el capítulo 2 que opera con un factor de carga  $K_c = 63,15\%$ , potencia de entrada 38,23 kW y eficiencia del 90,06 %.

Para realizar el análisis de factibilidad técnica y económica se proponen tres variantes de motores de diferentes fabricantes.

En las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran los datos de catálogo de cada uno de los motores propuestos. Con el propósito de ilustrar mejor la variación de la eficiencia a distintos estados de carga se muestran sus características graficadas en las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5.

Tabla 3.5. Motor Weg, deslizamiento 1,39 %, precio: \$ 3 960 (40)

Potencia (HP)	60	Eficiencia % (100 %)	91,7	Factor de Servicio	1,15
Polaridad	4	Eficiencia % (75 %)	91	Momento de Inercia	0,5249 kgm <sup>2</sup>
Frecuencia (Hz)	60	Eficiencia % (50 %)	90,2	Masa	330 Kg
Conjugado (Nm)	237	Factor de Pot (100 %)	0,89	Corriente en vacío (A)	18
Tensión (V)	460	Factor de Pot (75 %)	0,87	Ip/In	6,40 - G
Carcasa	364/5T	Factor de Pot (50 %)	0,82	Cp/Cn	2,3
RPM	1775	Aislamiento	F	Cm/Cn	2,6
In (A)	69,5	Ruido db(A)	75	Temp. ambiente	40 °C

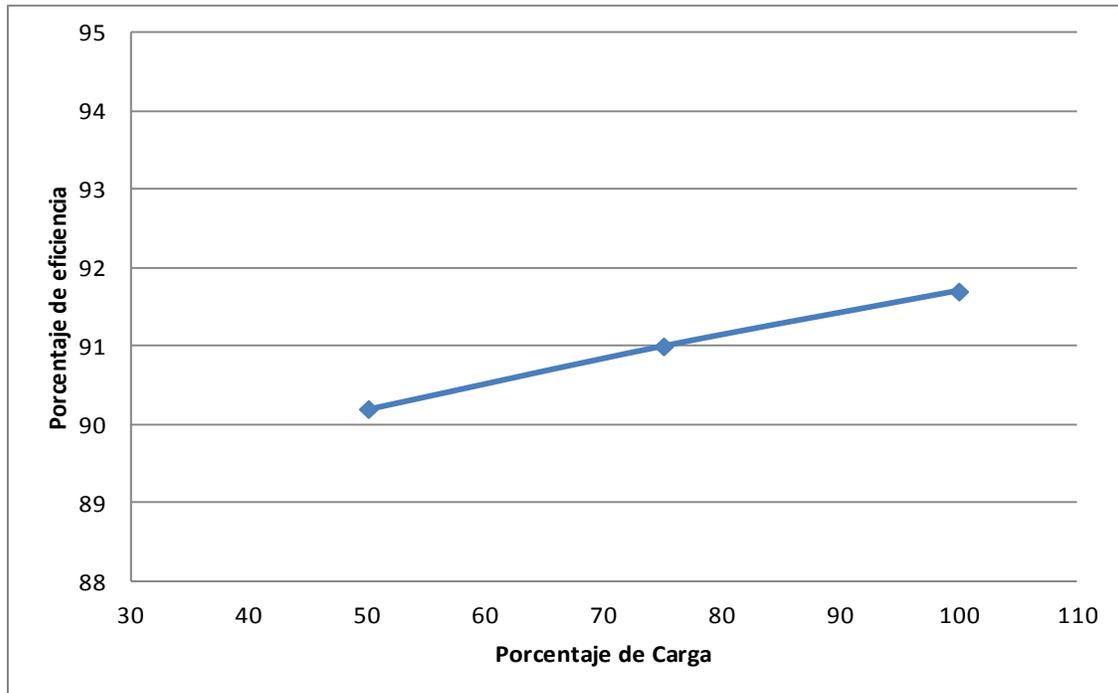


Figura 3.3. Eficiencia motor standard Weg 60Hz

Tabla 3.6. Motor Lincoln, catálogo N° 170025, motor AC. Trifásico base rígida precio: \$ 3.955 (40)

Potencia (HP)	60	Eficiencia % (100 %)	94,1	Factor de Servicio	1,15
Polaridad	4	Rendimiento % (75 %)		Momento de Inercia	
Frecuencia (Hz)	60	Eficiencia % (50 %)		Masa	716 lb
Conjugado (Nm)		Factor de Pot (100 %)		Corriente en vacío (A)	
Tensión (V)	230/460	Factor de Pot (75 %)		I <sub>p</sub> /I <sub>n</sub>	
Carcaza	364T	Factor de Pot (50 %)		C <sub>p</sub> /C <sub>n</sub>	
RPM	1780	Aislamiento	F	C <sub>m</sub> /C <sub>n</sub>	
I <sub>n</sub> (A)	139/69,5	Ruido db(A)		Temp. ambiente	

Tabla 3.7. Motor General Purpose NEMA 60 Hz, Id. 200778, Catalogo M4314TS,  
 Precio: \$ 3 996

Potencia (HP)	60	Eficiencia % (100 %)	93,6	Factor de Servicio	1,15
Polaridad	4	Eficiencia % (75 %)	93,9	Momento de Inercia	
Frecuencia (Hz)	60	Eficiencia % (50 %)	93	Masa	734 lb
Conjugado (Nm)	177	Eficiencia % (25 %)	89,1	Corriente en vacío (A)	
Tensión (V)	460	Factor de Pot (100 %)	0,85	Ip/In	
Carcaza	364TS	Factor de Pot (75 %)	0,82	Cp/Cn	
RPM	1777	Factor de Pot (50 %)	0,73	Cm/Cn	
In (A)	70,6	Factor de Pot (25 %)	0,53	Temp. ambiente	
Aislamiento	F	Ruido db(A)			

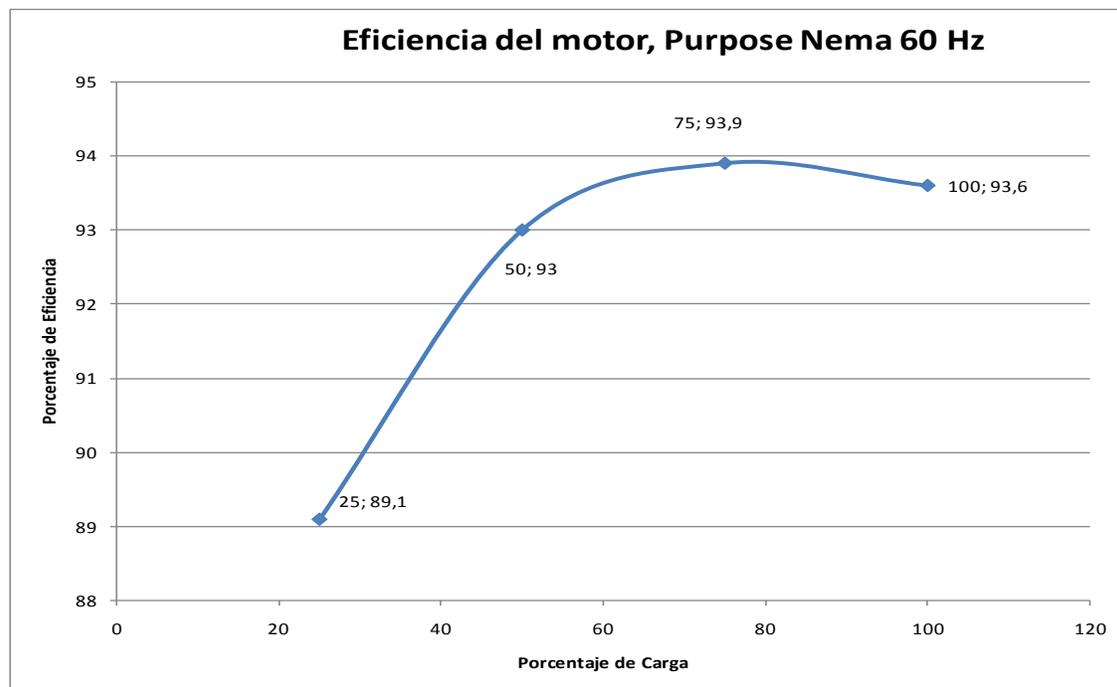


Figura 3.4. Eficiencia del motor a diferentes niveles de carga

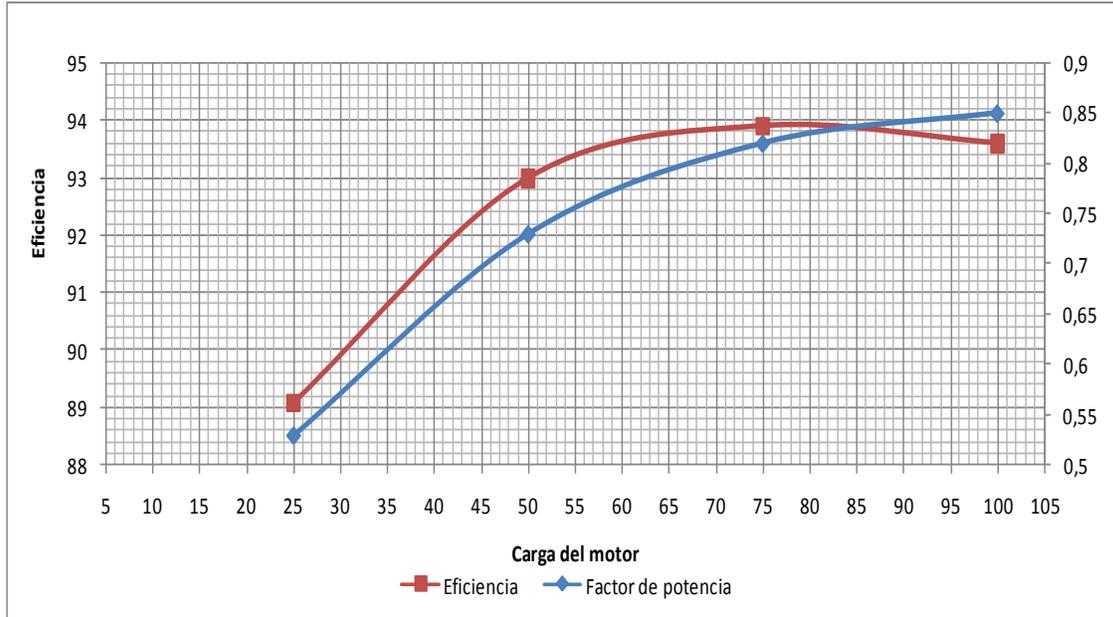


Figura 3.5. Cargabilidad y eficiencia del motor General Purpose NEMA 60 Hz

A partir de las características técnicas de los motores se hicieron los siguientes cálculos:

Potencia de salida a velocidades distintas a la del motor original

$$\frac{P2}{P1} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2}\right)^3$$

Factor de carga:

$$FC = \frac{Psalida}{Pno \text{ min } al \text{ } _{HP}}$$

Potencia de entrada:

$$Pentrada = \frac{Psalida}{\eta}$$

Tabla 3.8. Resultados del análisis de cada uno de los motores

Motor 60 HP	Potencia salida (kW)	Potencia salida (HP)	Factor de Carga (%)	Eficiencia con datos fabricante (%)	Potencia de entrada (kW)	Energía consumida en el año
1775 rpm	34,64	46,45	77,42	91,68	37,78	334 807,2
1780 rpm	34,93	46,85	78,08	91,68	38,10	330 969,71
1777 rpm	34,76	46,61	77,68	93,06	37,35	327 164,05

Nota: Datos calculados en hoja Excel (Anexo 5. Medición motores bombas)

A partir de estos resultados se descarta la variante del motor de 60 HP y 1775 rpm, por su elevado consumo energético (base anual).

A continuación se realiza el análisis comparativo con el motor actual, considerando criterios económicos y medioambientales.

Tabla 3.9 Comparación del motor actual con los motores estudiados

Motor	Energía consumida (kWh)	Costo de la energía (Bs.)	Barriles consumidos	Costo de barril (\$)	CO <sub>2</sub> emitido (Kg)
Actual: 75 HP, 1775 rpm	334 807,2	15 153,034	604,47	55 647,24	66 491,97
60 HP, 1775 rpm WEG, standard NEMA 60 Hz.	330 969,71	14 979,39	597,54	55 009,42	65 729,86
60 HP, 1777 rpm <b>GENERAL PURPOSE NEMA</b> 60 Hz.	327 164,05	14 807,12	590,67	54 376,89	64 974,06

Nota: Datos calculados en hoja Excel (Anexo 3. Medición motores Bombas)

Se tomaron las siguientes consideraciones en la elaboración de la tabla anterior:  
La tarifa aplicada (41) al hotel es de: 0,045259 Bs/kWh ó 0,010525349 \$/kWh

así como también la tarifa aplicada en demanda es 8,0272179 Bs/kVA ó 0,010525349 \$/kWh.

El precio del barril de petróleo venezolano al 19 de junio de 2012 fue de 90,06 \$/barril (42). Asimismo, para producir 1 kWh se consume 0,00180541 barriles de petróleo en la planta termoeléctrica Josefa Joaquina Bastida que es la que sirve al hotel.

De igual modo la cantidad de CO<sub>2</sub> que se emite al ambiente por 1 kWh producido con Fuel Oil es 0,1985978 kg (43) (44).

La tabla 3.10 muestra los ahorros que se pueden obtener al sustituir el motor existente por uno más eficiente marca WEG, estándar NEMA de 1775 rpm (Anexo 5).

Tabla 3.10. Valores comparativos del motor original respecto al motor WEG estándar NEMA

Motor	Energía consumida (kWh)	Costo de la energía (Bs.)	Barriles de Petroleo consumidos	Costo barril de Petroleo (\$)	CO <sub>2</sub> emitido (Kg)
Actual: 75 HP, 1775 rpm, Marca Lincoln	334.807,20	15.153,04	604,46703	55.647,24	66.491,97
60 HP, 1775 rpm WEG, standard NEMA 60 Hz.	327.164,05	14.807,12	590,66796	54.376,89	64.974,06
Diferencia (Actual menos Weg standard NEMA 60 Hz.)	3 837,49	173,68	6,93	637,82	762,12

La tabla 3.11 muestra los ahorros que se pueden obtener al sustituir el motor existente por uno más eficiente modelo General Purpose NEMA; de 1777 rpm (Anexo 5).

Tabla 3.11. Comparación datos motor actual respecto al motor propuesto

Motor	Energía consumida (kWh)	Costo de la energía (Bs.)	Barriles de Petróleo consumidos	Costo barril de Petróleo (\$)	CO <sub>2</sub> emitido (Kg)
Actual: 75 HP, 1775 rpm, Marca Lincoln	334 807,2	15 153,04	604,47	55 647,24	66 491,97
60 HP, 1777 rpm General Purpose NEMA 60 Hz.	327 164,05	14 807,12	590,67	54 376,89	64 974,06
Diferencia (Actual menos General Purpose NEMA 60 Hz.)	7 643,15	345,92	13,8	1 270,34	1 517,91

Estos resultados muestran que la mejor opción es elegir el motor General Purpose NEMA 60 Hz. Se observa que existe un ahorro representado en 13,8 barriles de petróleo dejados de consumir al no generar esta energía eléctrica, lo que representa un ingreso para el estado venezolano de 1 270,34 \$ y al mismo tiempo se contribuye a la reducción del impacto ambiental al dejar de emitir la cantidad de 1 517,91 kg dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), durante un año.

De acuerdo con los resultados obtenidos se presenta en la figura 3.6 una comparación del rendimiento del motor actual respecto al motor propuesto. Se evidencia gráficamente que se obtienen beneficios de ahorro energético si se realiza la sustitución.

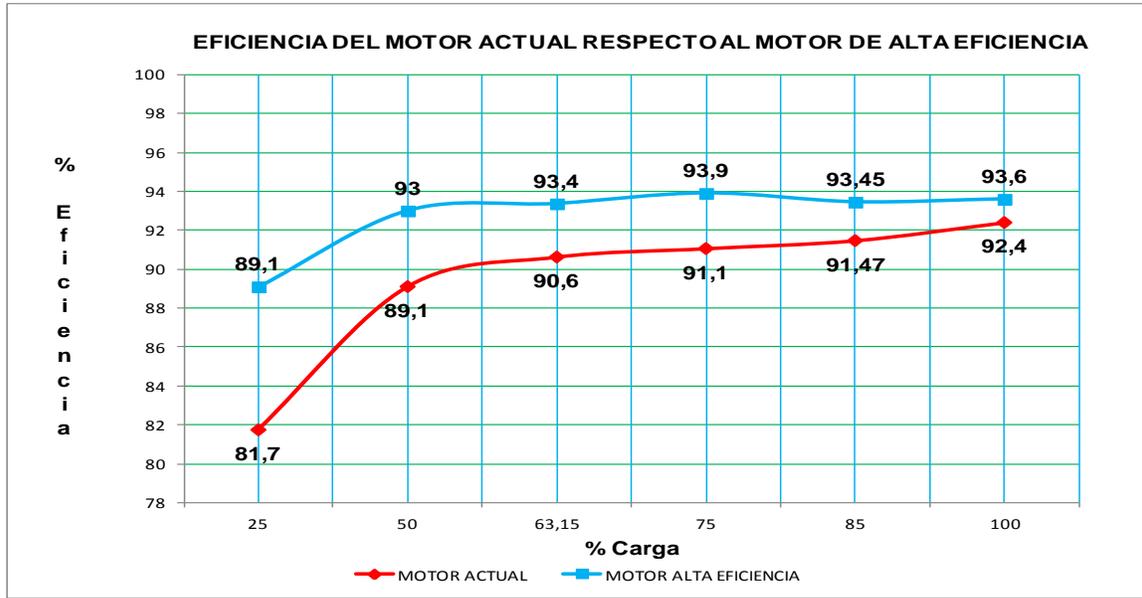


Figura 3.6. Curva de cargabilidad del motor actual y el motor eficiente

### 3.3. Cálculo Económico

Para corroborar el tiempo de recuperación y la rentabilidad del nuevo equipo se utilizó la hoja de cálculo Excel denominado VPN, diferencial, Análisis de alternativa para la selección de un motor en una nueva instalación (33). En una primera sensibilidad de estudio de caso, se consideraron 5 años de vida útil de la inversión con un 15 % de interés bancario y sin riesgo país. Los resultados se muestran en la tabla 3.12. También se analizaron sensibilidades con diferentes riesgo país resultando el más apropiado 14% y cinco años de vida útil de la inversión, lográndose recuperar la inversión en cuatro años. Los resultados de esta sensibilidad se muestran en la tabla 3.13.

Tabla 3.12. VPN, Diferencial, Análisis de alternativa para la selección de un motor en una nueva instalación con 15% de interés bancario y sin margen de riesgo.

Datos nominales del motor Instalado						
Potencia nominal, hp	75					
Voltaje, V	460					
velocidad, rpm	1800					
Eficiencia nominal,%	92,4					
factor de carga,%	63,15					
<b>Eficiencia al factor de carga especificad</b>	<b>91,2</b>					
<b>Costo(pesos)</b>	<b>3996</b>					
Datos nominales del motor Propuesto						
Potencia nominal, hp	60					
Voltaje, V	460					
velocidad, rpm	1800					
Eficiencia nominal,%	93,6					
factor de carga,%	77,7					
<b>Eficiencia al factor de carga especificad</b>	<b>93,1</b>					
Costo(dolares)	3996					
Datos para el analisis economico						
Precio de la energia,\$/kWh	0,010525349					
Precio de la demanda contratada,\$/kW	1,86679486					
Precio del Barril de Petróleo	92,06					
Inflacion de la energia,% anual	0					
Impuestos sobre la ganancia,%	0					
Interes bancario,%	15					
Meses de operacion al año	12					
<b>Tiempo de operacion anual, h</b>	<b>8760</b>					
<b>Margen de riesgo, %</b>	<b>0</b>					
Vida util de la inversion, año	5					
Cálculo de los ahorros						
Año	0	1	2	3	4	5
Costo del kWh, dolares		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Costo kW Dem. Max., dolares		1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
Potencia nominal, hp		75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Factor de carga		0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Ef. Mot. Std. a F.C.		91,20	91,20	91,20	91,20	91,20
Potencia nominal del motor propuesto, hp		60	60	60	60	60
Factor de carga		78	78	78	78	78
Ef. Mot. Eficiente. a F.C.		93,10	93,10	93,10	93,10	93,10
Tiempo de operación anual, h		8760,00	8760,00	8760,00	8760,00	8760,00
Meses de operación		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Energía ahorrada, kWh		12137,89	12137,89	12137,89	12137,89	12137,89
Ahorro en petróleo, Barriles		18,81	18,81	18,81	18,81	18,81
Ahorro monetario por petróleo dejado de consumir		1843,75	1843,75	1843,75	1843,75	1843,75
<b>Ahorro en energía, Dolares</b>		<b>127,7555</b>	<b>127,7555</b>	<b>127,7555</b>	<b>127,7555</b>	<b>127,7555</b>
Ahorro en Dem. Max., dolares		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ahorro total,dolares		127,7555	127,7555	127,7555	127,7555	127,7555
Datos iniciales						
Ingresos (I), USD		127,7555	127,7555	127,7555	127,7555	127,7555
Gastos (G), USD		0	0	0	0	0
Costo inversión (Ko), dolares	3996					
Tasa de descuento (d) , %		15	15	15	15	15
Tasa de inflación (f), %		0	0	0	0	0
<b>Margen de riesgo, %</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tasa de impuestos (t), %</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Vida útil estimada, años		5	5	5	5	5
Resultados						
Año	0	1	2	3	4	5
Depreciación (Dep), dolares		799,20	799,20	799,20	799,20	799,20
Flujo de caja (Fc), dolares	-3996	127,76	127,76	127,76	127,76	127,76
Flujo de caja considerando petróleo		1843,75	1843,75	1843,75	1843,75	1843,75
Tasa de descuento real (D)		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Tasa de descuento real con margen (D)		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Factor de descuento		0,87	0,76	0,66	0,57	0,50
Flujo de caja descontado (Fd), dolares		111,09	96,60	84,00	73,04	63,52
<b>Flujo descontado considerando petróleo</b>		<b>1603,26</b>	<b>1394,14</b>	<b>1212,29</b>	<b>1054,17</b>	<b>916,67</b>
<b>Flujo descontado acumulado (Fda),dolar</b>	<b>-3996</b>	<b>-3884,91</b>	<b>-3788,31</b>	<b>-3704,31</b>	<b>-3631,26</b>	<b>-3567,74</b>
Flujo descontado acumulado considerando petróleo		-2392,74	-998,61	213,69	1267,85	2184,52

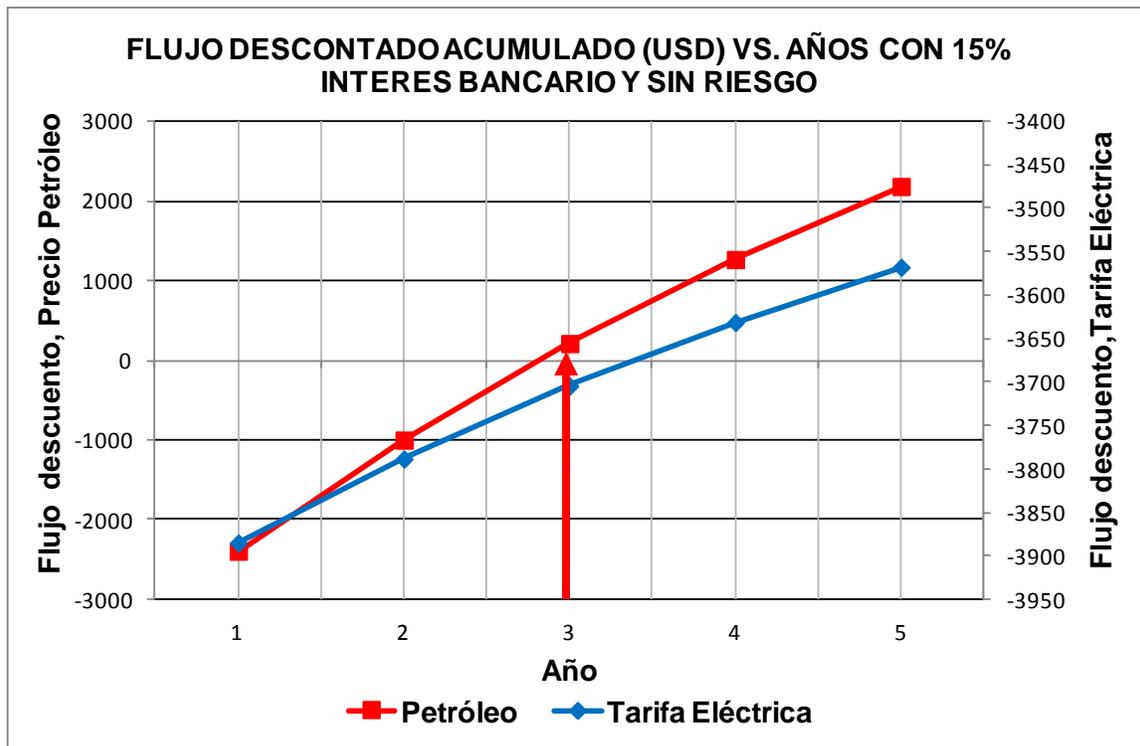


Figura 3.7. Flujo de descuento respecto al tiempo de recuperación

En la figura 3.7 se muestra la relación del flujo de descuento respecto al tiempo de recuperación de la inversión con dos valoraciones, una con el precio del barril de petróleo al 15 de junio de 2012 y la otra con el precio de la energía por kilovatio hora en Venezuela, considerando un riesgo de país cero por ciento (0 %) y un interés bancario de 15 %.

En la figura 3.8 se muestra un análisis similar considerando un riesgo de país catorce por ciento (14 %).

Tabla 3.13. VPN, Diferencial, Análisis de alternativa para la selección de un motor en una nueva instalación con 15% de interés bancario y 14 % de riesgo país

<b>Datos nominales del motor Instalado</b>						
Potencia nominal, hp		75				
Voltaje, V		460				
velocidad, rpm		1800				
Eficiencia nominal,%		92,4				
factor de carga,%		63,15				
Eficiencia al factor de carga especificado		91,2				
Costo(pesos)		3996				
<b>Datos nominales del motor Propuesto</b>						
Potencia nominal, hp		60				
Voltaje, V		460				
velocidad, rpm		1800				
Eficiencia nominal,%		93,6				
factor de carga,%		77,7				
Eficiencia al factor de carga especificado		93,1				
Costo(dolares)		3996				
<b>Datos para el analisis economico</b>						
Precio de la energia,\$/kWh	0,01052535					
Precio de la demanda contratada, \$/kW	1,86679486					
Precio del Barril de Petróleo	92,06					
Inflacion de la energia,% anual	0					
Impuestos sobre la ganancia, %	0					
Interes bancario, %	15					
Meses de operacion al año	12					
Tiempo de operacion anual, h	8760					
Margen de riesgo, %	14					
<b>Vida útil de la inversion, año</b>	<b>5</b>					
<b>Cálculo de los ahorros</b>						
Año	0	1	2	3	4	5
Costo del kWh, dolares		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo kW Dem. Max., dolares		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Potencia nominal, hp		75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
Factor de carga		0,6315	0,6315	0,6315	0,6315	0,6315
Ef. Mot. Std. a F.C.		91,2	91,2	91,2	91,2	91,2
Potencia nominal del motor propuesto, hp		60	60	60	60	60
Factor de carga		77,7	77,7	77,7	77,7	77,7
Ef. Mot. Eficiente. a F.C.		93,1	93,1	93,1	93,1	93,1
Tiempo de operación anual, h		8760	8760	8760	8760	8760
Meses de operación		12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Energía ahorrada, kWh		12137,9	12137,9	12137,9	12137,9	12137,9
Ahorro en petróleo, Barriles		18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
Ahorro monetario por petróleo dejado de consumir		1843,7	1843,7	1843,7	1843,7	1843,7
Ahorro en energía, Dolares		127,8	127,8	127,8	127,8	127,8
Ahorro en Dem. Max., dolares		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Ahorro total,dolares</b>		<b>127,8</b>	<b>127,8</b>	<b>127,8</b>	<b>127,8</b>	<b>127,8</b>
<b>Datos iniciales</b>						
Ingresos (I), USD		127,76	127,76	127,76	127,76	127,76
Gastos (G), USD		0	0	0	0	0
Costo inversión (Ko), dolares	3996					
Tasa de descuento (d) , %		15	15	15	15	15
Tasa de inflación (f), %		0	0	0	0	0
Margen de riesgo, %		14	14	14	14	14
Tasa de impuestos (t), %		0	0	0	0	0
<b>Vida útil estimada, años</b>		<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Resultados</b>						
Año	0	1	2	3	4	5
Depreciación (Dep), dolares		799,20	799,20	799,20	799,20	799,20
Flujo de caja (Fc), dolares	-3996	127,76	127,76	127,76	127,76	127,76
Flujo de caja considerando petróleo		1843,75	1843,75	1843,75	1843,75	1843,75
Tasa de descuento real (D)		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Tasa de descuento real con margen (D)		0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Factor de descuento		0,78	0,60	0,47	0,36	0,28
Flujo de caja descontado (Fd), dolares		99,04	76,77	59,51	46,13	35,76
Flujo descontado considerando petróleo		1429,26	1107,95	858,88	665,80	516,12
Flujo descontado acumulado (Fda),dolares	-3996	-3896,96	-3820,19	-3760,68	-3714,55	-3678,78
<b>Flujo descontado acumulado considerando petróleo</b>		<b>-2566,74</b>	<b>-1458,79</b>	<b>-599,91</b>	<b>65,89</b>	<b>582,01</b>
<b>VPN, dolares</b>						<b>-3678,78</b>
<b>VPN considerando petróleo</b>						<b>582,01</b>

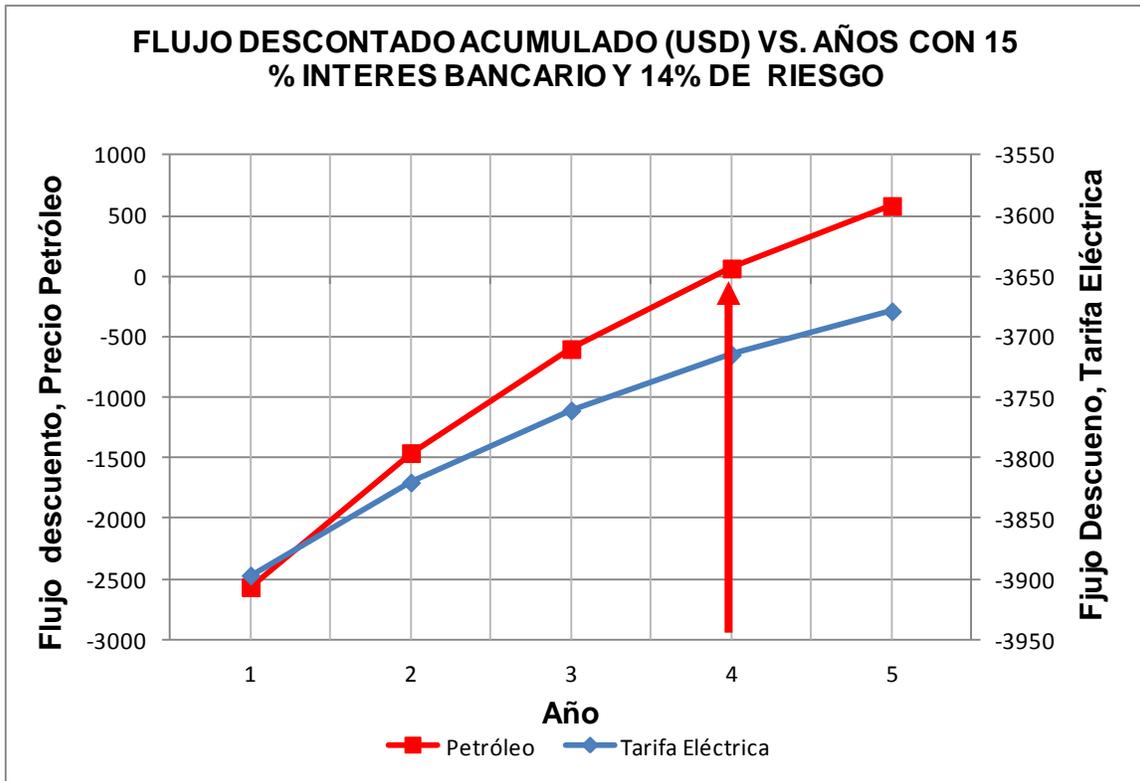


Figura 3.8. Flujo de descuento respecto al tiempo de recuperación

Los dos casos de sensibilidad considerados muestran un periodo de retorno de la inversión de 3 a 4 años.

## Conclusiones parciales

1. A partir de las oportunidades de ahorro de energía identificadas se proponen y evalúan dos proyectos de mejora de la eficiencia energética del sistema de climatización: ajuste de la temperatura de consigna del agua helada del chiller y sustitución de motores sobredimensionados por motores más eficientes.
2. El proyecto de ajuste de la temperatura de consigna del agua helada del chiller muestra resultados favorables como reducción del consumo eléctrico anual de 105 120 kWh, lo que representa un ahorro anual de 190 barriles de petróleo y reducción de 20 876 kg anuales de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este proyecto es factible de implementar sin necesidad de inversión alguna.
3. El proyecto de sustitución de motores sobredimensionados por motores más eficientes evaluó dos alternativas. La variante del motor NEMA WEG resultó la más apropiada al obtenerse como una reducción del consumo eléctrico anual de 7 643,15 kWh, lo que representa un ahorro anual de 13,8 barriles de petróleo y reducción de 1 517,91 kg anuales de emisiones de CO<sub>2</sub>.
4. Los resultados del análisis de factibilidad económica del proyecto sustitución de motores muestra un periodo de retorno de la inversión de 3 a 4 años en función del interés bancario y el riesgo país. No obstante se considera que la propuesta de sustitución resultará beneficiosa para el hotel y para el país dado el carácter emblemático de la instalación, la reducción del consumo energético y el impacto ambiental asociado.

## **CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES GENERALES**

1. La situación energética internacional condicionada por el costo creciente de la energía, la limitación de recursos y el deterioro ambiental; requiere la adopción urgente de acciones para el incremento de la eficiencia energética. El sector turismo se caracteriza por su elevado y poco racional consumo energético y en particular en el Hotel Venetur Alba Caracas, existe un potencial de ahorro de energía importante, específicamente en los sistemas de climatización centralizados por agua helada a presión constante.

2. La caracterización energética del hotel muestra que el sistema de climatización es el mayor consumidor con el 49,93 % del total y dentro de este la enfriadora de agua (chiller) con el 42,94 %. El diagnóstico energético realizado permitió identificar dos oportunidades de ahorro principales: el ajuste de la temperatura del agua helada y la sustitución de motores ineficientes por otros de eficiencia superior para accionar las bombas de agua helada y de condensación.

3. A partir de las oportunidades de ahorro de energía identificadas se proponen y evalúan (técnica, económica y ambientalmente) dos proyectos de mejora de la eficiencia energética del sistema de climatización. Ambos proyectos muestran resultados favorables como reducción del consumo energético de 112 584 kWh anuales, que representan el equivalente a 203 barriles de petróleo valorados en 18 739 \$ (divisas para el país).

## **RECOMENDACIONES**

## **RECOMENDACIONES**

1. Divulgar los resultados de la investigación a la gerencia del hotel Venetur Alba Caracas y la Dirección de Uso Racional y Eficiente de la Energía en el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica.
2. Profundizar la investigación del proyecto de ajuste de la temperatura del agua helada, ampliando el rango de la variable analizada.
3. Valorar la incorporación de los resultados obtenidos en un sistema de gestión energética para el hotel que contribuya al cumplimiento de las políticas de eficiencia energética del país.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Institucional.** *Informe mensual Centro Nacional de Despacho (CND) N° 519.* Caracas : s.n., 2012.
2. Declaración de emergencia eléctrica. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.* Caracas : Imprenta Nacional, 2010. N° 39363.
3. Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos. [En línea] 2008. [Citado el: 1 de Mayo de 2011.] [http://downloads.gecamin.cl/cierre\\_eventos/automining2008/prsntcns/00092\\_00463\\_pr.pdf](http://downloads.gecamin.cl/cierre_eventos/automining2008/prsntcns/00092_00463_pr.pdf).
4. **Colectivo de Autores, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Univesidad de Cienfuegos, Cuba. Bajo la redacción general de Anibal E. Borroto Nordelo.** *Gestión Energética en el Sector Productivo y Servicios.* Cienfuegos : Universidad de Cienfuegos, 2007. ISBN 978-959-257-131-0.
5. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Primeras medidas de orden técnico y administrativo para orientar la reducción del consumo de electricidad en los Organismos Públicos.* Caracas : Imprenta Nacional, 2009. N° 39298.
6. *Gaceta Oficial De la República Bolivariana de Venezuela. Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía.* Caracas : Imprenta Nacional, 2011. N° 39823.
7. [aven.es](http://www.aven.es). [En línea] [Citado el: 24 de Junio de 2012.] [http://www.aven.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104&Itemid=216&lang=castellano](http://www.aven.es/index.php?option=com_content&view=article&id=104&Itemid=216&lang=castellano).
8. [digital.csic.es](http://digital.csic.es). [En línea] [Citado el: 25 de Junio de 2012.] <http://digital.csic.es/bitstream/10261/41141/1/Climaiza%C3%93N%20de%20Hotes.pdf>.
9. Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad. Caracas : Imprenta del Ministerio de Energía y Petróleo, 2004.

10. Agencia Internacional de la Energía. [En línea] [Citado el: 5 de mayo de 2011.] [http://www.iea.org/weo/docs/weo2011/es\\_spanish.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/weo2011/es_spanish.pdf).
11. Global Footprint Network. [En línea] [Citado el: 1 de Mayo de 2011.] [http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint\\_data\\_and\\_results](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_data_and_results).
12. [En línea] [Citado el: 1 de Mayo de 2011.] <http://laempresaprivada.blogspot.com/2010/06/pronostico-consumo-mundial-de-energia.html>.
13. Global Footprint Network. [En línea] [Citado el: 24 de Abril de 2012.] <http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/footprint-science-introduction/>.
14. Foot Print Network. [En línea] [Citado el: 25 de Noviembre de 2010.] [http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/living\\_planet\\_report\\_2008](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/living_planet_report_2008).
15. World Energy Outlook 2011, Agencia Internacional de la Energía. [En línea] Dirección de Estudios y Análisis del entorno de Repsol, Febrero de 2012. [Citado el: 22 de Febrero de 2012.] <http://www.iea.org/w/bookshop/b.aspx>.
16. **Montelíer Hernández, Sergio.** *Reducción del Consumo de Energía en Instalaciones con Sistemas de Climatización Centralizados Todo-Agua a Flujo Constante. Tesis Para optar el título de Doctor.* Cienfuegos Cuba : Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, 2008.
17. Gaceta Oficial de Venezuela. *Primeras medidas de orden técnico y administrativo para orientar la reducción del consumo de electricidad en los Organismos Públicos.* Caracas : Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2009. Vol. Gaceta Oficial del 3 de noviembre de 2009, N° 39298.
18. Resolución N° 007, mediante la cual se garantiza la utilización equitativa y la optimización del uso de la energía eléctrica suministrada por la Corporación Eléctrica Nacional, S.A. (CORPOELEC) y sus filiales, además de regular su uso.

Caracas : Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2009. N° 39.332.

19. El Aire Acondicionado. [En línea] [Citado el: 19 de Abril de 2010.] [http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia\\_aire\\_acondicionado.html](http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia_aire_acondicionado.html)  
Artículo de Conti González Báez. .

20. **Fernández, D. G.** *Análisis de la Influencia de Factores Climatológicos y Alternativas Operacionales en el Consumo Energético de los Sistemas Centralizados de Climatización por Agua Helada*, Trabajo de Diploma, Departamento de Ingeniería Mecánica. Cuba : Universidad de Cienfuegos, 2005. p.70.

21. Agencia Valenciana de Energía. *Guía de ahorro y eficiencia energética en establecimientos hoteleros de la comunidad de Valencia*. Agencia Valenciana de Energía (AVEN) . [En línea] [Citado el: 24 de junio de 2012.] <http://www.aven.es>.

22. **Hernández López, Leandro.** *Predicción del consumo energético del hotel Jagua aplicando la simulación termodinámica y la inteligencia artificial*. Tesis en Opción al grado de Master en Ciencias. Cienfuegos : Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2006.

23. **Monteagudo, José y otros.** *Estrategia ocupacional, una vía para el ahorro de energía en hoteles turísticos. Montajes e Instalaciones*. España : s.n., 2008.

24. **MONTELIER, HERNÁNDEZ, Sergio.** *Reducción del consumo de Energía en Instalaciones con Sistemas de Climatización Centralizados Todo- Agua a Flujo Constante A*. Tesis Para optar el Título de Doctor en Ciencias Técnicas. Cienfuegos Cuba : Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2008.

25. **ASHRAE.** *The ASHRAE Handbook CD. (2009)*. [CD] USA : ASHRAE, 2009.

26. Wulfinghoff, D. R. "Manual de Eficiencia Energética". Atlanta Georgia, EUA : s.n., 2000. P.1 536.

27. **Álvarez-Guerra Plasencia, Mario A. y otros.** *Estudio de caso: Ahorro Energético en Instalaciones de Climatización Centralizada de hoteles. Eficiencia Energética en Edificios.* Cuba : Editorial Cubaenergia, 2011.
28. **McQuay.** *Chiller Plant Design.* 2002.
29. **Trane.** Trane Air Conditioning Clinic Chilled-Water System. *Trane Air Conditioning Clinic.* USA : s.n., 2001.
30. **Alfaro Cabrera, Yasniel, Tutores: Yarelis Valdivia Nodal. Roy Reyes Calvo y Juan Carlos Armas Valdés.** **Trabajo de Diploma, Departamento de Ingeniería Mecánica.** *Procedimiento para la selección de la estrategia físico estructural que garantice mínimo consumo del sistema de climatización centralizada por agua helada del Hotel Jagua.* Autor: Yasniel. Cuba : Universidad de Cienfuegos, 2010. p. 79.
31. **Roy Young, Raya,Álvarez Guerra Plasencia, tutor.** *Estudio comparativo de configuraciones de interconexión de enfriadoras en sistemas de climatización centralizada. Trabajo de Diploma, Departamento de Ingeniería Mecánica.* Cuba : Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2012. p. 67.
32. IPU Technology Development. CoolPack. [En línea] [Citado el: 25 de Abril de 2011.] <http://www.ipu.dk/English/IPU-Manufacturing/Refrigeration-and-energy-technology/Downloads/CoolPack.aspx>.
33. **Colectivo de Autores: Dr.C. PERCY Viego, Dr.C. Marcos de ARMAS, Dr.C. Arturo PADRÓN, Dr.C. Julio GÓMEZ, Dr.C. Ignacio PÉREZ, Dr. C. Leonardo CASAS.** *Uso Final de la Energía Eléctrica.* Cienfuegos : Editorial Universo Sur Universidad de Cienfuegos, 2007.
34. Baldor distribuidora. [En línea] [Citado el: 12 de Junio de 2012.] <http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>.
35. **Colectivo de Autores: Dr.C. PERCY Viego, Dr.C. Marcos de ARMAS, Dr.C. Julio GÓMEZ, Dr. C. Royd REYES.** Estimación del Factor de Potencia y la

Eficiencia de Motores Asíncronos a Cargas Parciales en condiciones de Campo. Cienfuegos : Documento inédito, 2012. S/N.

36. **P.A., Suisky.** *Cálculo del factor de potencia y la eficiencia con cargas parciales en motores asíncronos de jaula de ardilla (en ruso).* s.l. : Elektrotejnika, 1990.

37. Principales Acciones para la Mejora de la Eficiencia Energética en instalaciones Turísticas. [En línea] [Citado el: 23 de Mayo de 2012.] [http://www.cytcd.org/cytcd\\_innovacion/forum/2010/presentaciones/Raul%20Rodriguez.pdf](http://www.cytcd.org/cytcd_innovacion/forum/2010/presentaciones/Raul%20Rodriguez.pdf).

38. HVAC Chilled Water Distribution . *cedengineering.com.* [En línea] [Citado el: 20 de junio de 2012.] <http://www.cedengineering.com/upload/HVAC%20Chilled%20Water%20Distribution%20Schemes.pdf>.

39. Performance Enhancements for Chiller Plants. *coolenergytech.com.* [En línea] [Citado el: 19 de Abril de 2012.] <http://www.coolenergytech.com/Enhancements.htm>.

40. **(NEMA), National Electrical Manufacturers Association.** Catálogo N° 170025, motor AC trifásico base rígida. [En línea] [Citado el: 5 de Diciembre de 2010.] <http://www.directindustry.es/prod/lincoln-motors/motor-electrico-asincronico-trifasico-7203-107594.html>.

41. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. *Resolución Conjunta N° 089 y 055, mediante la cual se fijan las tarifas máximas que aplicarán las empresas eléctricas que en ella se mencionan, a los consumos de energía eléctrica.* Caracas : Imprenta Nacional, 2002. N° 37415.

42. menpet.gob.ve. [En línea] [Citado el: 19 de Junio de 2012.] <http://www.menpet.gob.ve/secciones.php?option=view&idS=45>.

43. International Energy Agency. *www.iea.org*. [En línea] [Citado el: 5 de Junio de 2012.] <http://www.iea.org>.
44. sunearthtools.com. [En línea] [Citado el: 19 de Junio de 2012.] [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/CO2-emissions-calculator.php?lang=es#txtCO2\\_3](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/CO2-emissions-calculator.php?lang=es#txtCO2_3).
45. Tecno Hotel. [En línea] [Citado el: 25 de Noviembre de 2011.] <http://www.etcnohotel.com/2012/01/nuevas-soluciones-energeticas-en-hoteles/>.
46. **González Báez, Conti**. El Aire Acondicionado. [En línea] [Citado el: 19 de Abril de 2010.] [http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia\\_aire\\_acondicionado.html](http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia_aire_acondicionado.html)  
Artículo de Conti González Báez..
47. Resolución N° 007, mediante la cual se garantiza la utilización equitativa y la optimización del uso de la energía eléctrica suministrada por la Corporación Eléctrica Nacional, S.A. (CORPOELEC) y sus filiales, además de regular su uso. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*. Caracas : Imprenta Nacional, 2009. N° 39332.
48. Global Footprint Network. [En línea] [Citado el: 1 de Mayo de 2011.] [http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint\\_data\\_and\\_results](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_data_and_results).
49. *Sistema de gestión integrada de servicio energético. Gestión de Hoteles*. **González García, Juan Manuel**. Septiembre - Octubre 1999, 1999. p 7-14.
50. Historia del aire acondicionado. "1902-2002" 100 años de la innovación. [En línea] Carrier Corporation. [Citado el: 20 de Noviembre 2011 de 2010.] <http://www.carrier.es/news/history.html>.
51. **Colectivo de autores, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos, Cuba**. Bajo la redacción general de **Anibal E. Borroto Nordelo**. *Gestión Energética en el Sector Productivo y Servicios*.

Cienfuegos : Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2007. ISBN 978-959-257-131-0.

52. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. *Resolución N° 005, mediante la cual se instruye a la Corporación Eléctrica Nacional, S.A. (CORPOELEC) y a todas sus filiales, para que exijan a los centros o locales comerciales y centros residenciales, la elaboración de planes de ahorro energético.* s.l. : Imprenta Nacional, 2009. N° 39332.

53. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. *Resolución N° 009, mediante la cual se regula la reducción del consumo de energía eléctrica de aquellos usuarios sujetos a las tarifas que en ella se mencionan, cuya Demanda Asignada Contratada (DAC) exceda los 25 KVA, en un veinte por ciento (20%).* Caracas : Imprenta Nacional, 2009. N° 39 366.

## **ANEXOS**

## **Nexos**

Los anexos se entregan en disco compacto identificados como se indica a continuación:

- 1.- Anexo 1\_censo\_Alba\_Caracas
- 2.-Anexo 2. Medición chiller 7\_8\_ 9 y 10
- 3.-Anexo 3. Medición motores bombas
- 4.-Anexo 4. Medición termohigrómetro
- 5.-Anexo 5. Medición motor bomba