



*Facultad de Ingeniería Mecánica*



## *Trabajo de Diploma*

*Título: Estrategias de Operación del Sistema de Climatización Centralizada por Agua Helada de Hotel Jagua.*

*AUTOR: Fletcher Christian Jacobs*

*TUTORES: Msc. Sergio Montelir Hernández  
Dr. Leonel Martínez Díaz*

*“Año 49 de la Revolución”  
Curso 2006 – 2007*

## *Agradecimientos*

*Yo gratifico a mis hermanas Ava y Lori Jacobs, y a mi tía Maureen que me apoyaron durante mis estudios.*

*A mis profesores que me han ayudado a culminar mis estudios universitarios.*

*A mis tutores Msc Sergio Montelir Hernández y Dr. Leonel Martínez Díaz que me elevaron a pensar como ingeniero en la realización de este trabajo de diploma.*

*A los empleados de Supreme Ventures Ltd. para ayudarme a terminar mis estudios en Cuba.*

*A Lorna Gooden y May Evans que verdaderamente me aceptan como familia y han extendido su mano para ayudarme; les estoy muy agradecido.*



*Pensamiento*

*El Pueblo más feliz es el que tenga mejor educados a sus hijos, en la instrucción del pensamiento, y en la dirección de los sentimientos. Un pueblo instruido ama el trabajo y sabe sacar provecho de él. Un pueblo virtuoso vive más feliz y más rico que otro lleno de vicios y se defenderá mejor de todo ataque".*

*José Martí*

## Resumen

En el presente trabajo de diploma se hace un análisis de las posibles estrategias operacionales que pueden implementarse en el hotel Jagua de la provincia de Cienfuegos con vistas a reducir los consumos energéticos del sistema de climatización centralizado por agua helada (SCCAH). Se realizó una caracterización del sistema climatización de dicha instalación y se realizaron mediciones experimentales con el fin de determinar el consumo del chiller al aplicar la estrategia de ajuste del set point del agua helada en el chiller.

Una vez concluido el análisis experimental se demuestra la potencialidad del uso de dicha estrategia y lográndose ahorros significativos en el orden de \$ 5644.80 CUC/año y manteniéndose las condiciones de confort del cliente dentro de las habitaciones. Desde el punto de vista ambiental dejan de emanarse a la atmósfera un total de 48 TON CO<sub>2</sub>/año.

Introducción.....	1
<b>Capítulo 1 Energía y el sector turístico de Cuba .....</b>	<b>3</b>
1.1. Situación del turismo en Cuba... ..	3
1.1.1. Estado actual de la industria turística.....	4
1.2. Ministerio de Turismo (MINTUR).....	7
1.2.1. Estructura del MINTUR.....	7
1.3. Tendencias de la climatización en el turismo cubano .....	11
1.3.1. Sistema de acondicionamiento de aire.....	11
1.3.2. Sistemas de aire acondicionado.....	12
1.3.3. Ventajas de los sistemas centralizados.....	15
1.3.4. Oportunidades de Ahorro de Energía .....	19
Conclusiones parciales.....	20
<b>Capítulo II: Estrategias Operacionales en Chiller.....</b>	<b>21</b>
2.1 Factores que influyen el consumo de energía de un chiller .....	21
2.1.1. Consideraciones acerca la influencia de las variables en sistemas de climatización .....	21
2.2 Estrategias Operacionales posibles en (SCCAH).....	24
2.2.1. Estrategias operacionales generales .....	26
Conclusiones parciales.....	35
<b>Capítulo III Caso de estudio hotel Jagua.....</b>	<b>36</b>
3.1. Descripción general y particularidades del Hotel Gran Caribe Jagua.....	36
3.1.1 Descripción de las actividades que realiza .....	38
3.2. Sistema de climatización del hotel .....	41
3.2.1. Descripción general del sistema .....	41
3.3. Posibles Estrategias Operacionales en el Hotel Jagua .....	50
3.3.1. Estrategia de Fan Cycling (Reciclaje de Ventiladores).....	50
3.3.2. Estrategia de variación del set point en el Hotel Jagua.....	52
3.4. Condiciones de operación durante los días de prueba.....	54
3.5. Análisis de resultados.....	56

3.6 Evaluación Económica.....	58
3.7. Impacto ambiental.....	60
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Referencia bibliografica.....	63
Bibliografía.....	65
Anexos	

## Introducción

En climas tropicales como el nuestro el turismo constituye una de las industrias más importantes de la actualidad y posibilita el ingreso de grandes recursos monetarios para el desarrollo del país.

Unido al desarrollo vertiginoso del turismo, surgen otras necesidades inevitables como son el hecho del desarrollo de la infraestructura hotelera de la región y el aumento de la calidad de los servicios a los clientes, lo que posibilita un desarrollo creciente de esta esfera.

Los sistemas de climatización de las instalaciones turísticas se caracterizan en general por poseer un consumo energético considerable, Sin embargo, existen oportunidades para reducir los consumos mediante un enfoque sistemático y estructurado en la administración de la energía que permita aprovechar los ahorros potenciales, sin limitar la calidad de los servicios ofrecidos a los turistas.

El aumento de la eficiencia energética de estas instalaciones a partir del uso más eficiente de los sistemas y equipos posibilitan la reducción de los costos de operación de estas instalaciones, y constituye esta una de las vías más factibles para aumentar la competitividad y proteger el medio ambiente en un hotel.

Una de las vías de ahorrar energía en los SCCAH los constituye el hecho de establecer estrategias de operación de los sistemas que sean factible desde el punto de vista técnico y que conlleven a ahorros significativos de energía, sin la necesidad de hacer grandes inversiones o remodelaciones del sistema.

Por las razones anteriormente expuestas el Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos en conjunto con el personal de mantenimiento del Hotel Jagua realizaron investigaciones encaminadas a demostrar la factibilidad de aplicar la estrategia operacional “ **Variación del punto de ajuste de agua helada** ” con vistas a reducir los consumos del SCCAH.

Por lo tanto constituye un **Problema científico**: No existen en nuestro país suficientes resultados que reflejen la potencialidad económica de aplicar estrategias operacionales en sistemas centralizados por agua helada que conduzcan a la reducción de los gastos energéticos y la reducción del impacto ambiental.

Como objeto de estudio, para dar solución al problema científico, se plantea como **Hipótesis**: Es posible mediante el ajuste del set point del agua helada en los chillers, lograr ahorros significativos de la energía eléctrica.

#### **Objetivo General:**

- ✓ Determinar la influencia de la variación del set point del agua helada en el consumo de energía eléctrica del sistema de climatización centralizado del hotel Jagua.

#### **Objetivos Específicos:**

- ✓ Recopilar y procesar la información técnica del sistema de climatización centralizada del hotel Jagua.
- ✓ Definición de los parámetros operacionales y factores climatológicas y sus influencias en la operación SCCAH.
- ✓ Medir el consumo del chiller al aplicar la estrategia de variación de set point (punto de ajuste) del agua helada.
- ✓ Evaluación económica y ambiental de la aplicación de estrategia de variación del set point.

## **Capítulo I: Energía y el sector turístico de Cuba**

### **1.1 Situación del turismo en Cuba.**

El turismo no es una actividad nueva en Cuba. Al igual que en el mundo, tuvo su auge a partir de los años 50. En esa época, cuando el desarrollo turístico en la mayor de las Antillas estuvo muy ligado a la presencia de la mafia norteamericana en la Isla, Estados Unidos era el mercado principal, y el juego y la prostitución eran las principales ofertas de la Isla. Este turismo de ciudad condicionó el poco desarrollo de producto natural de Cuba en esa etapa.

Con el triunfo de la Revolución comenzó la política norteamericana de bloqueo y se eliminó el turismo proveniente de Estados Unidos.

A partir de 1959, el desarrollo de la economía estuvo dirigido a otros programas importantes del país, por lo cual el turismo era entonces fundamentalmente nacional, hecho que condicionó una estructura habitacional poco competitiva como producto internacional.

En los años 80 comienza la reapertura al turismo internacional, pero es en 1990 que se produce un nuevo enfoque del desarrollo de este sector, se crean las primeras empresas mixtas y hay un crecimiento acelerado en los arribos de visitantes y en los ingresos.

Desde 1996, cuando se logró por primera vez sobrepasar el millón de visitantes, Cuba se ha propuesto consolidarse como destino mundial y del Caribe.

Para comercializar su producto turístico, la mayor de las Antillas cuenta, principalmente, con la hospitalidad popular y calidad de su pueblo, excepcionales atractivos naturales, un patrimonio histórico autóctono, prolífica vida artística y cultural, un desarrollo sanitario único, la estabilidad política y la seguridad para los turistas.

Cuba se consolida como destino turístico a partir de un crecimiento acelerado del número de arribos e ingresos.

Así, se incrementa desde el año 90, con 340 mil viajeros, hasta alcanzar en el 2002, 1 668 162, que representó una caída de 4,8% en relación con el 2001, cuando visitaron el país 1 774 541 turistas. Esa disminución se debió a la crisis del sector turístico mundial tras los atentados terroristas del 11 de Septiembre en Nueva York y Washington, que agudizó la recesión económica internacional y dejó la quiebra de importantes aerolíneas.

Desde 1996 Cuba se incorporó al reducido grupo de cinco países del Caribe insular que reciben más de un millón de visitantes extranjeros.

Canadá, Alemania, Italia, España, Francia, Reino Unido y México son los siete principales mercados emisores de turistas hacia Cuba, al acaparar el 65,75% (1 108 726) del total de visitantes que arriban al país.

De acuerdo con una encuesta de una firma española entre 2 850 personas de 23 países: Cuba ocupa el cuarto lugar como destino turístico, la ciudad de La Habana el quinto, Varadero y el Hotel Nacional el tercero como playa e instalación, respectivamente, y Cuba es la preferida entre todas las islas del mundo.

El desarrollo del turismo ha sido uno de los pilares en la reanimación de la economía nacional. Al cierre del 2002 la industria nacional cubría el 68% de la demanda de insumos en la industria turística, cuota que en 1990 era sólo del 12%.

El turismo da empleo directo a unos 100 mil trabajadores, cifra que en 1990 era 52 mil. [1]

### **1.1.1 Estado actual de la industria turística.**

Cuba es miembro de la Organización Mundial de Turismo (OMT) y la Organización de Turismo del Caribe (CTO). Además, trabaja en conjunto con sus vecinos del Caribe para hacer del área un solo destino, estrategia en la cual se inscribe la creación de la Zona Sustentable de Turismo, la primera del mundo y aprobada por la Cumbre de Jefes de Estado y Gobierno de la Asociación de Estados del Caribe. En materia de la formación del personal, Cuba es, además,

miembro de la Confederación Panamericana de Escuelas de Hotelería y Turismo (CONPEHT).

El turismo en Cuba ha mantenido un desarrollo creciente en los primeros cuatro años de esta década (2000-2010). En el “Anuario Estadístico del 2004” se observa que el flujo turístico se multiplicó casi 2 veces, pasando de 1.7 millones en el 2000 hasta sobrepasar los dos millones en el 2004, lo que permitió que el monto de los ingresos por turismo internacional ascendió de 1737.4 millones de CUC en el 2000 a 1914.7 millones de CUC en el 2004.

Cuba pasó de 12 mil 900 habitaciones en 1990 a 37 225 al cierre del 2002, que se agrupan en 240 hoteles.

Ahora es un producto de alta calidad internacional, donde la mayor cantidad de sus capacidades se concentra en hoteles de cuatro y cinco estrellas.

La mayor parte de la construcción de capacidades hoteleras la acomete el país con medios propios. Sin embargo, las inversiones extranjeras tienen un importante papel en el desarrollo turístico de Cuba.

Al cierre del 2002, 53 hoteles y 18,390 habitaciones operaban bajo contrato de administración extranjera con 16 cadenas de reconocido prestigio internacional, como Sol Meliá, Accor, Barceló, IberoStar, LTI, Red Deer, Sandals y Superclub.

La región del mundo que más turismo aportó al país durante los tres primeros años de esta década fue la europea, pero en el 2004 fue superada por América con una cifra de arribos de 1026000 turistas por 977 mil provenientes de Europa. Esto estuvo condicionado principalmente por la disminución en los arribos de turistas proveniente de Francia, Alemania y Portugal y el aumento del flujo de visitantes canadienses, venezolanos y argentinos.

En Cuba las llegadas de turistas se comporta de manera inversa con el verano y las altas temperaturas ya que como su turismo es eminentemente del hemisferio norte y de los cinturones templado y ártico en estas épocas del año los residentes en estos lugares desarrollan un turismo nacional aprovechando los meses de verano en sus propios países y cuando caen las estaciones de otoño

e invierno viajan hacia lugares más cálidos en busca de condiciones idóneas para realizar turismo de playa, naturaleza, etc.

Las autoridades cubanas del sector turístico para el año 2005 confirmaron el propósito de cerrarlo con un incremento del 12 por ciento con respecto al 2004, además se espera el arribo de 2.3 millones de visitantes, cifra que en los primeros nueve meses del año en curso mostraron el arribo a la mayor de Las Antillas de un millón 754 mil 338 vacacionistas extranjeros.

Para el año 2006 el número de turistas atraídos por las playas de Cuba cayó un 3.6% con una cifra de arribos de 2.2 millón visitantes debido a los altos precios de la isla - una disminución pequeña del 2.3 millones para 2005 informó Cuba a La Organización de Turismo Caribeña. La baja en el turismo del año pasado (2006) fue confirmada por “El Anuario 2006” de la Oficina Nacional de Estadísticas y contrasta con un crecimiento sostenido del 4% desde el 2000. [2]

### Limitantes

- El bloqueo (embargo económico) de Estados Unidos contra Cuba que impide adquirir productos que puede demandar el turismo a precios razonables y comercializar con empresas turísticas norteamericanas.
- La limitante de ser una isla y que hoy los precios del petróleo encarecen el traslado hacia el país. Sin embargo, ya se ha ido demostrando que, en la medida que se va desarrollando el turismo cubano, se van haciendo hoteles más competitivos

El turismo genera para la economía del país más de 2 mil millones de dólares. Hoy el Caribe recibe un poco más de 20 millones de turistas. De ellos casi el 51% son de Estados Unidos. Cuba no puede contar hoy con el 50% del mercado turístico del Caribe. Cuba cuenta sólo con la mitad.

## **1.2 Ministerio de Turismo (MINTUR)**

El Ministerio de Turismo fue creado en el 21 de abril de 1994 para ejercer las funciones rectoras de dirección política, regulación y control del sector y la actividad empresarial en él.

El MINTUR es el organismo estatal rector del Sistema de Turismo, en el cual participan otras entidades del país. En este sentido, el MINTUR elabora la política y controla su aplicación en las entidades que administran directamente las propiedades del sector. Sus objetivos estratégicos actuales son los siguientes:

1. Diseñar y concretar una comercialización más eficiente del producto turístico
2. Incrementar y diversificar una oferta turística más competitiva
3. Recuperar y hacer crecer la planta hotelera
4. Elevar el nivel de eficiencia económica del Sistema de Turismo
5. Desarrollar hasta los niveles más avanzados la informática y los sistemas de comunicación
6. Incorporar más capital extranjero al desarrollo del turismo
7. Ampliar la proyección del horizonte temporal del desarrollo del turismo al año 2010, así como adecuar las estructuras organizativas a los ritmos de desarrollo

### **1.2.1 Estructura del MINTUR**

Para cumplir con las responsabilidades que le han sido asignadas, el Ministerio de Turismo adoptó una estructura ligera, plana y flexible.

El organismo tiene dos niveles de dirección: el primero está compuesto por el Ministro y los viceministros; mientras el segundo lo integran los funcionarios a cargo de las distintas áreas de trabajo: Secretaría, Calidad del Producto, Inversiones, Negociaciones, Relaciones Internacionales, Jurídico, Desarrollo,

Comercial, Informática, Promoción y Publicidad, Análisis Económico, y Administración, Personal y Cuadros.

Cuenta además el MINTUR con delegados en varios territorios, como reflejo de los diferentes polos turísticos en operaciones y en desarrollo: Pinar del Río, Ciudad de La Habana, La Habana, Matanzas, Cayo Largo del Sur, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo.

Para la formación y superación del personal del sector, con vistas a garantizar la profesionalidad, calidad y eficiencia en el servicio, el país cuenta con el Sistema Nacional de Formación Profesional del Turismo (FORMATUR), que integra 19 escuelas en todo el territorio nacional.

### **Principales Entidades Turísticas**

Para llevar adelante el desarrollo integral del turismo en Cuba se ha estructurado un sistema formado por entidades hoteleras y extrahoteleras, así como otras de carácter autónomo e independiente, que asumen funciones de apoyo al resto.

#### ***HOTELERAS:***

**Cubanacán S.A.**: Esta sociedad es el grupo líder en la actividad turística cubana, tanto en operaciones hoteleras como extrahoteleras, así como en otros negocios dentro del sector, sea por el volumen de sus inversiones o los contratos de administración y comercialización de instalaciones, fundamentalmente de cuatro y cinco estrellas.

**Gran Caribe**: Sociedad anónima con personalidad jurídica y patrimonio propios. Administra y comercializa instalaciones propias o de terceros, bajo distintas modalidades y marcas. Desarrolla la actividad de eventos, congresos e incentivos, así como servicios gastronómicos, comerciales y recreativos en sus

hoteles y centros extrahoteleros, como el cabaret Tropicana y los restaurantes Floridita y La Bodeguita del Medio.

**Horizontes**: Ofrece y presta a los visitantes extranjeros servicios destinados a la recuperación de su salud y rehabilitación en el orden físico y psíquico, como podrán ser servicios de aguas minero-medicinales y termales, así como otros bajo distintas modalidades y categorías.

**Gaviota**: Este grupo de turismo tiene entre sus objetivos la promoción y venta de servicios hoteleros y turísticos, así como sus especializaciones en salud, náutica, pesca, buceo y otras modalidades.

**Islazul**: Esta cadena está dedicada preferentemente al turismo nacional.

**Habaquanex**: Esta compañía tiene la función de explotar, gestionar y administrar todo tipo de industrias e instalaciones hoteleras y extrahoteleras, así como las actividades destinadas al turismo en el Centro Histórico de La Habana Vieja.

**Comunidad Las Terrazas**: Experiencia rural de desarrollo sostenible, con vistas a la explotación y comercialización de servicios para el turismo de montaña y ecológico. Se encuentra en la Sierra del Rosario (Pinar del Río), zona declarada por la UNESCO como la primera Reserva de la Biosfera en Cuba.

**Grupo Empresarial Campismo Popular**: Dedicada al campismo y ecoturismo.

### ***EXTRAHOTELERAS:***

**Rumbos**: Su objeto social es satisfacer necesidades de ocio y recreación de los turistas en centros extrahoteleros, mediante ofertas de actividades y entretenimiento variados.

**Cubatur**: Esta agencia está encargada de la organización profesional de viajes de turistas a Cuba u otros destinos. También lleva a cabo servicios receptivos y de turoperadores.

**Transtur**: Brinda servicios de transporte al turismo internacional en ómnibus, microbuses, *rent a car*, taxis, otros autos y cualquier otro medio de transportación.

**Turarte**: Es la encargada de los espectáculos de diferentes formatos para cabarets y otras instalaciones del turismo.

**Caracol**: Opera y desarrolla una red de tiendas de todo tipo para el turismo internacional.

Así para las cuatro principales cadenas, "Cubanacán" y "Gran Caribe" cubren en lo fundamental (alrededor del 91% en 1998) la oferta de 5 estrellas. Por su parte Horizontes es la cadena con mayor número de instalaciones de tres estrellas (46.7% del total) y también de dos estrellas (66%). "Gaviota" la menor compañía en cuanto a número de instalaciones, se encuentra representada básicamente en la categoría cuatro estrellas, representando el 14,8% del total de instalaciones, en este segmento "Horizontes" y "Cubanacán" cubren el 83% restante.

## **1.3 Tendencias de la climatización en el turismo cubano**

### **1.3.1. Sistema de acondicionamiento de aire.**

Un sistema de aire acondicionado consiste básicamente en un conjunto de equipos que proporcionan aire y mantienen el control de su temperatura, humedad y pureza en todo momento y con independencia de las condiciones climáticas. Sin embargo, suele aplicarse de forma impropia el término “aire acondicionado” al aire refrigerado. Muchas unidades llamadas de aire acondicionado son sólo unidades de refrigeración equipadas con ventiladores, que proporcionan un flujo de aire fresco filtrado.

Los sistemas centralizados de aire acondicionado, que proporcionan ventilación, aire caliente y aire frío, según las necesidades, se emplean en grandes hoteles, restaurantes, cines, teatros y en otros edificios públicos. Estos sistemas son complejos y suelen instalarse durante la construcción del edificio. Cada vez se automatizan más para ahorrar energía y se controlan por computadoras u ordenadores. En edificios antiguos, como edificios de apartamentos o de oficinas, se suele instalar una unidad refrigeradora con ventiladores, conductos para el aire y una cámara en la que se mezcla el aire del interior del edificio con el aire del exterior. Estas instalaciones se utilizan para refrigerar y deshumedificar el aire durante los meses de verano. Hay aparatos más pequeños para enfriar una habitación, que consisten en una unidad refrigeradora y un ventilador en una estructura compacta que puede montarse en una ventana.

El diseño del sistema de aire acondicionado depende del tipo de estructura en la que se va a instalar, la cantidad de espacio a refrigerar, el número de ocupantes y del tipo de actividad que realicen. Una habitación con grandes ventanales expuestos al sol, o una oficina interior con muchas luminarias, que generan mucho calor, requieren un sistema con capacidad de enfriamiento mucho mayor

que una habitación sin ventanas iluminada con tubos fluorescentes. La circulación del aire debe ser mayor en espacios en los que los ocupantes pueden fumar, que en recintos de igual capacidad en los que no está permitido. En viviendas y apartamentos, la mayor parte del aire calentado o enfriado puede circular sin molestar a sus ocupantes; pero en laboratorios y fábricas donde se realizan procesos que generan humos nocivos el aire no se puede hacer circular; hay que proporcionar constantemente aire fresco refrigerado o calentado y extraer el aire viciado.

Los sistemas de aire acondicionado se evalúan según su capacidad efectiva de refrigeración, que debería medirse en kilovatios. Sin embargo todavía se mide en algunas ocasiones en toneladas de refrigeración, que es la cantidad de calor necesaria para fundir una tonelada de hielo en 24 horas, y equivale a 3,5 kilovatios.

### **1.3.2. Sistemas de aire acondicionado.**

#### **► Unidades de Ventana**

Son instalaciones pequeñas diseñadas para enfriar o calentar un local de dimensiones pequeñas sin el uso extenso de ductos. Consisten en una unidad refrigeradora y un ventilador en una estructura compacta que puede montarse en una ventana o por una pared. Normalmente tiene una capacidad en el rango de 1.2 Kw hasta 10 Kw. [3]

Se utiliza a este sistema de aire acondicionado debido a que la inversión inicial es menor a la de un sistema de agua helada o central. El sistema de agua helada requiere de una inversión inicial de alrededor de 2.2 veces más que el de unidades de ventana. Sin embargo, el consumo de energía eléctrica de un sistema de unidades de ventana es mayor que en un sistema central, ya que en este último, el hotel puede regular la capacidad de la unidad para operar a

mejores eficiencias, mientras que en el primero dependerá del criterio del huésped.

Adicionalmente es importante mencionar que un sistema central es susceptible a automatizarse para disminuir los consumos de energía. [4]

#### ► Sistema Centralizado de Aire Acondicionado

Son sistemas que centralizan la generación del fluido térmico encargado de transportar la energía a los locales a acondicionar. La producción de frío o calor (uno o más equipos generadores) se realiza centralmente, distribuyéndose a los equipos terminales que actúan sobre las condiciones de los locales o zonas diferentes. La Instalación centralizada colectiva es la producción centralizada de frío o calor sirve a un conjunto de usuarios dentro de un mismo edificio mientras la instalación centralizada individual es la producción centralizada de frío o calor independiente para cada usuario.

Hay cuatro categorías básicas de sistemas centralizados. Estos sistemas centralizados se dividen en:

1. sistema de Todo aire
2. sistema de Aire y agua
3. sistema de Todo agua

El sistema todo agua es uno de los mas utilizados en Cuba para la climatización de grandes hoteles, este sistema es conocido también como sistema de agua helada, y consiste en una unidad central o más que genera agua a temperaturas de aproximadamente 7°C, la cual es distribuida por medio de tuberías a las habitaciones y a las áreas comunes.

Estas unidades están compuestas por cuatro elementos principales que son: el evaporador, el condensador, el elemento expansivo o válvula de expansión, y el compresor.

La unidad absorbe el calor generado por el edificio (Hotel) por medio del evaporador que es un intercambiador de calor donde circula agua fría por un lado, y refrigerante por el otro. El agua sale del evaporador a aproximadamente 7°C, y regresa a 12°C. Este último diferencial de temperatura, se debe a la absorción de la carga térmica del edificio.

El gas refrigerante sale del evaporador hacia el compresor que aumenta su presión para llevarlo al condensador, donde el refrigerante se condensa en un intercambiador de calor, que puede utilizar agua o aire como medio de condensación. La figura 1.1 ilustra esquemáticamente el ciclo de operación del sistema de acondicionamiento de aire.

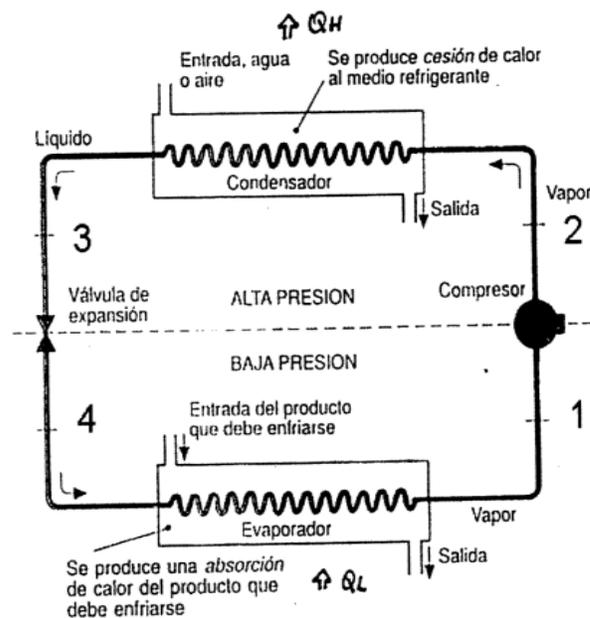


Figura 1.1 Ciclo operación de un sistema de acondicionamiento de aire

Existen diversas opciones de unidades centrales o enfriadoras de agua (Chillers), y cada opción será la más adecuada, dependiendo de la ubicación del hotel, la disponibilidad y costo del agua, así como las tarifas de energía eléctrica en el lugar de la aplicación.

Cuando se hace una selección en el equipo a utilizar se debe tomar en cuenta que los equipos enfriados por agua son más eficientes que los enfriados por aire, pero se debe analizar el sistema completo, ya que al sistema de enfriamiento por agua tiene que agregársele el consumo eléctrico de los ventiladores de la torre de enfriamiento y en de las bombas de agua de condensación. El componente que consume la mayor parte de la energía en una Unidad Enfriadora de Agua (Chiller), es el compresor, y este puede ser de diferentes tipos. Los principales tipos de compresores utilizados son de tornillo, reciprocante, centrífugo y rotativo

### **1.3.3 Ventajas de los sistemas centralizados.**

- Permiten realizar una supervisión de los parámetros básicos de funcionamiento del sistema de climatización de la habitación y la comprobación del funcionamiento de las válvulas y del motor del ventilador-serpentín.
- Del punto de vista de operacional este sistema posee una gran flexibilidad ya que posibilita establecer estrategias de operación de chiller de forma centralizada, que resultan económicamente factibles.
- Un fallo del equipo crea una alarma en el sistema de control que emite un aviso al servicio de mantenimiento. Así se puede actuar sobre el sistema antes de que el usuario lo perciba y de esta forma aumentar la calidad del servicio.
- Control del estado de los filtros. Mediante una sonda de presión diferencial en el filtro del ventilador-serpentín es posible conocer el estado de los mismos y proceder a la limpieza o sustitución en caso necesario.

- Permite conocer el consumo real de energía de cada habitación. Dato fundamental en los programas de ahorro de energía que se realicen en la instalación.
- Por otra parte, los sistemas de control centralizados permiten servicios de mensajería del usuario, alarmas de incendio por sensores ubicados en las habitaciones, alarmas de robos por entradas a través de ventanas o terrazas. Señal de servicio solicitado por el cliente, cierre automático de persianas cuando la habitación está desocupada, etc.
- Bajo costo de inversión
- Confiable en una operación de 24 continuas
- Bajo costo de operación y mantenimiento

**- Desventajas de los sistemas centralizados.**

- Los costos iniciales son elevados debido a que son sistemas más complejos desde el punto de vista de su tamaño y automatización.

### Distribución de consumo energético para diferentes tipos de edificios

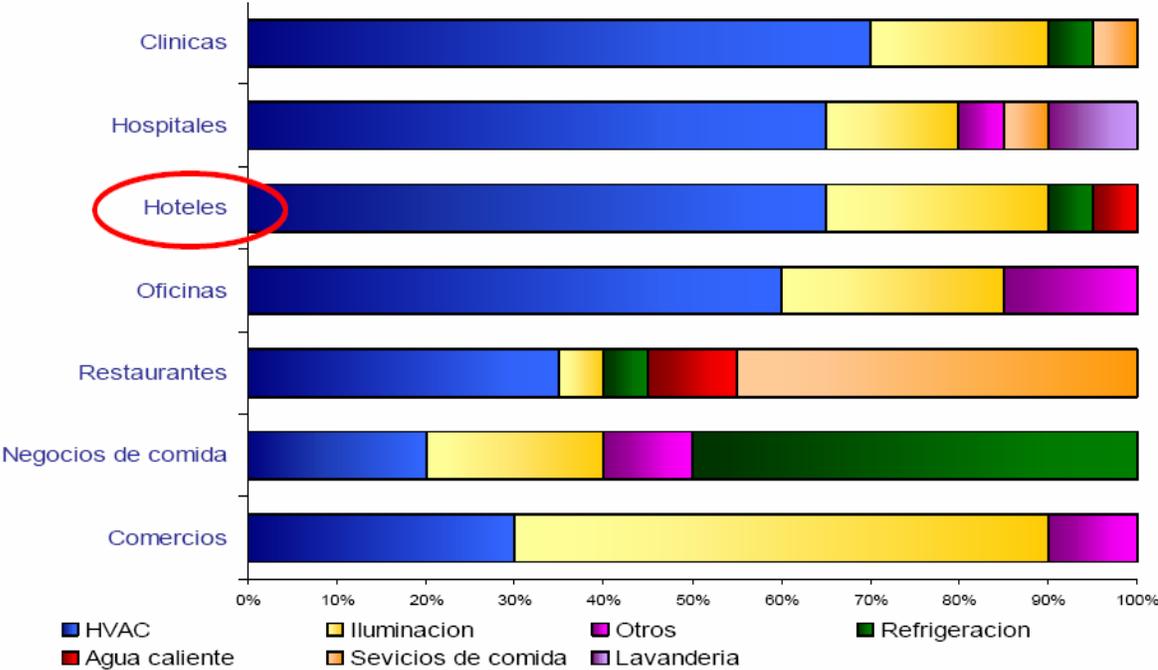
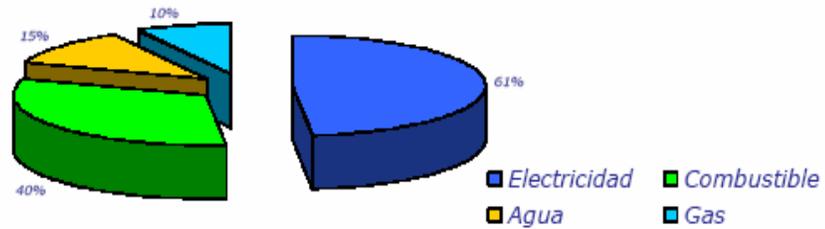
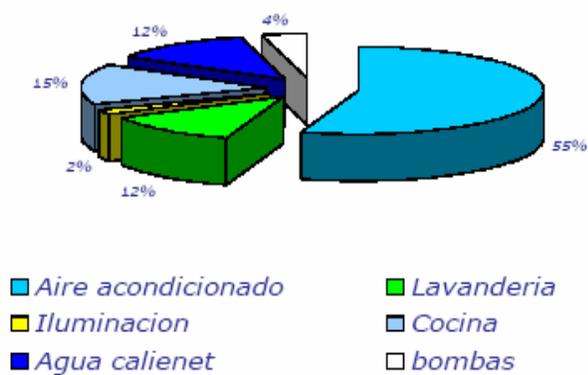


Figura 1.2 Consumo energético para edificios

### Consumo en Hoteles Recursos



#### Hotel pequeño (menos de 50 habitaciones)



#### Hotel grande (mas de 100 habitaciones)

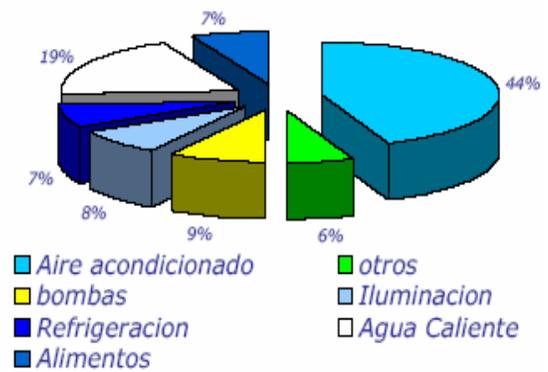


Figura 1.3 Consumo Energético en Hoteles

#### **1.3.4 Oportunidades de Ahorro de Energía en Sistemas de Aire Acondicionado en Hoteles.**

Cuando pensamos en cómo disminuir los costos de operación de los hoteles, de inmediato pensamos en la disminución del consumo eléctrico, y en este rubro, el consumo eléctrico del sistema de aire acondicionado representa alrededor del 30% del total, aunque si el sistema no es eficiente, puede representar un porcentaje mayor (30-60%). Lo anterior nos señala que si logramos tener un sistema de enfriamiento operando eficientemente, estaremos ayudando a reducir los costos de operación del hotel. [5]

Adicional al beneficio de ahorrar dinero, el hecho de reducir el consumo eléctrico de hoteles, también beneficiará al medio ambiente ya que al disminuir la generación de energía eléctrica, disminuimos la emisión de Dióxido de Carbono a la atmósfera, que es el principal componente que ocasiona el sobrecalentamiento de la Tierra, llamado también Efecto Invernadero.

### **Conclusiones Parciales:**

1. El turismo en Cuba ha crecido de forma considerable durante la última década, impulsando la infraestructura hotelera e introduciendo nuevos sistemas de climatización que permiten un monitoreo centralizado de los parámetros de trabajo de los mismos.
2. Los sistemas centralizados de agua helada están siendo utilizados en gran medida en las instalaciones hoteleras por presentar ventajas desde el punto de vista energético operacional con respecto a los sistemas tradicionales y permitiendo un ahorro de energía.

## Capítulo II: Estrategias Operacionales en Chiller

### 2.1 Factores que influyen el consumo de energía de un chiller

Los factores climatológicos tales como: temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar, localización geográfica, velocidad del viento, precipitación, entre otros, tienen una influencia marcada en la operación y el consumo de los sistemas de climatización.

El sistema de climatización mas utilizado aquí en Cuba es el sistema de clima centralizado por agua helada (chiller) en los cuales el agua después de ser enfriada a temperatura entre 6 y 13 grados Celsius es bombeada a las diferentes áreas a climatizar donde por medio de intercambiadores de calor denominados fan coils se logra la climatización de los recintos. La eficiencia de estos sistemas esta sujeta entre otras cosas a la influencia de las variables climatológicas que determinan en gran medida las condiciones de operación de los chillers. [13]

#### 2.1.1 Consideraciones acerca de la influencia de las variables en los sistemas de climatización.

Las características que influyen el intercambio térmico entre una edificación y su contexto pueden ser consideradas como **extrínsecas** e **intrínsecas** según el estudio desarrollado por Pinado (1998). Conforme a esta clasificación, las características medio ambientales, entre ella el clima, son entendida como una serie de parámetros externos a la edificación que influye directamente en el intercambio energético entre la edificación y su contexto.

El clima, concebido como parte del medio ambiente puede ser analizado como variable independiente si solamente se toma en cuenta los factores climáticos, o bien como una variable dependiente si se consideran los diferentes parámetros ambientales.

## **Elemento climático o parámetros medio ambientales.**

**Temperatura** - Es probablemente una de los parámetros fundamentales del clima. Desde el punto de vista de acondicionamiento del aire resulta fundamental en el análisis del comportamiento de las edificaciones, ya que junto con los resultados obtenidos de otros parámetros podríamos determinar si se ofrecen o no unas condiciones climáticas de confort, al mismo tiempo que determina, en gran medida, el sistema constructivo y las medidas correctoras en el caso de reacondicionamiento. Posee una influencia marcada en la presión de condensación de los sistemas de refrigeración enfriados por aire

**Radiación solar** - la radiación produce un incremento de la temperatura en las superficies envolventes, que luego desprenden ese calor en el interior de las edificaciones y generan movimientos de masas de aire por diferencias de temperatura entre las zonas expuestas al sol y las que están a la sombra.

**La humedad** - En el diseño de sistemas de aire acondicionado y en el planteamiento de medidas correctivas esta propiedad física (la humedad) tiene gran importancia. Junto con la temperatura del aire y el movimiento del aire pueden incidir directamente en las condiciones de confort y especialmente en la temperatura de sensación. En los sistemas enfriados por agua tiene una influencia significativa en la carga de la torre de enfriamiento.

**El viento** - Es considerado un parámetro fundamental en el análisis ambiental de las edificaciones, puesto que del mismo modo que puede ser una forma de climatización, también puede generar manifestaciones de malestar, en los ocupantes de un espacio e incluso ocasionar problemas de inestabilidad en las edificaciones. Además tiene una influencia significativa en el intercambio de calor entre el exterior y el espacio a condicionar

**La precipitación** - Es un fenómeno climatológico que surge cuando el movimiento de aire por convección produce elevaciones de aire que forman pequeñas gotas las que caen en forma de llovizna, lluvia, granizo o nieve. La precipitación es un elemento del clima que influye en la humedad relativa, vegetación y contaminación, entre otros.

### **Factores del clima**

Los factores del clima son las condiciones físicas, no variables, de un sitio y que afectan de modo general el clima. Estos factores han sido clasificados de diferentes maneras y son conocidos como factores astronómicos, geográficos, biológicos y/o tecnológicos. Es especialmente importante que, previamente al proceso de diseño, así como previo al planteamiento de propuestas de reacondicionamiento de edificaciones, se realice un estudio de estos factores, pues estos pueden llegar a determinar en gran medida el buen comportamiento de la edificación desde el punto de vista medio ambiental y de confort.

#### ***Como factores del clima tenemos:***

Situación geográfica o latitud

Altura sobre el nivel del mar

El factor de continentalidad

El factor orográfico

La topografía, el relieve, la exposición a la radiación solar y la naturaleza de la superficie terrestre

Vegetación y fauna.

## 2.2 Estrategias Operacionales posibles en (SCCAH)

La principal función del hotel es dar el máximo confort a sus clientes y para realizar esto, se requiere energía. Es por este nivel de confort logrado que el sector hotelero se caracteriza en general por su elevado, y en ocasiones poco racional, consumo energético. No obstante, existen muchas oportunidades de reducción de consumos y costos energéticos, sin afectar el nivel ni la calidad de los servicios prestados, mediante una efectiva gestión energética, que conduzca al uso racional y eficiente de la energía y el agua en los principales procesos y equipos de uso final, respetando el principal recurso del sector turístico: el Medio Ambiente.

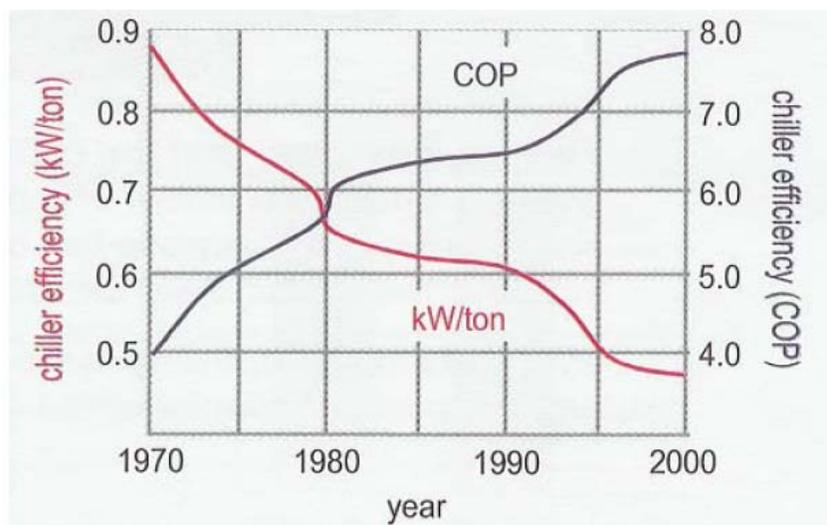
A pesar de la realización creciente de la operación y supervisión de chillers, la mayoría de los sitios todavía no se supervisa ni tienen instalación óptima ni operación. Los chillers normalmente operan por debajo de 50% de la carga máxima del sitio, debido a sobredimensionamiento o el tiempo. Además, muchos de los sitios grandes operen con compresores centrífugos que se caracterizan por un aumento brusco en kW/ton para las cargas menor que 30% de la carga diseñado. Así, la operación a cargas parciales tiene un impacto sustancial en el consumo de energía de chillers. [7]

En Cuba en hoteles de las cadenas hoteleras Cubanacán, Gran Caribe, Islazul y Horizonte este indicador alcanza valores que oscilan del 8 al 16 % de los gastos, y pueden llegar hasta el 20 % dependiendo de su infraestructura y los niveles de comercialización. La comparación con indicadores internacionales indica que la eficiencia energética promedio en los hoteles cubanos está por debajo de la media y que existen, por tanto, considerables potenciales de ahorro. [6]

Beyene (1995), en el artículo " Performance Evaluation of Conventional Chiller Systems ", concluye que el número de chillers en cualquier sitio, el tiempo, y la distribución de carga tienen una influencia marcada en el consumo de energía de los chillers. Él recomienda el uso de un 'Penalty factor' (PF) para cuantificar la

influencia de estas variables en la operación del chiller. Con el uso del PF, él concluye que un solo chiller centrífugo opera el más ineficazmente (tiene el PF más alto). Dos y tres chillers centrífugos tienen el mismo PF. La diferencia en el consumo de energía entre sitios que utilizan chillers múltiples no es tan significativa como el aumento de consumo de energía en un solo chiller. Él demostró que los datos reales y resultados de la simulación coinciden. Beyene también concluye que las ventajas de chillers múltiples disminuyen después de tres unidades. [8]

Con los avances en la tecnología, los chillers hoy son más eficientes que antes. En 1970 los chillers operaban con un consumo de 0,8 - 0,9 y hasta 1 kW/ton y consumían alrededor del 73 % de la potencia de la instalación. La eficiencia de estos equipos se ha incrementado drásticamente en los últimos años y ya en el 2000 se disponía de equipos con un consumo inferior a 0,50 kW/ton, y el consumo de potencia de un 58 % de la instalada. [5]



**Figura 2.1 Aumento de la eficiencia de los sistema de agua helada (Chiller) a través del tiempo**

## 2.2.1 Estrategias operacionales generales

### Estrategias recomendadas para incrementar la eficiencia del chiller a cargas parciales

- Chillers múltiples (de iguales y diferentes capacidades )
- Chiller con múltiples compresores
- Sistemas con flujo variable
- Operación en serie o paralelo
- Ajuste de la temperatura del agua helada
- Ajuste de la temperatura del agua de enfriamiento en los chillers enfriados por agua
- El alivio de la temperatura de torre de enfriamiento (Aplicable en chillers enfriado por agua)
- Flujo variable de agua del condensador (Aplicable en Chillers Enfriado por agua)

### Chillers múltiples.

Se estima que el 86% de los chillers son instaladas en algún tipo de aplicación de chillers múltiples y operarán muy diferentemente cuando se incorporan en un sistema, comparado con una aplicación de un solo chiller. [9]

Existen dos tipos de configuraciones comunes:

1. Dos Chillers – Capacidades Iguales
2. Tres Chillers – Dos de Capacidades Iguales, uno de menos capacidad.

### **Dos chillers de capacidades iguales.**

Cada máquina se diseña, cuando está operando a capacidad de 100%, mantener 50% de la carga del edificio total. Las bombas secundarias de agua helada están equipadas con VFDs, para mantener una presión diferencial por el suministro y retorno del sistema; y se usan las válvulas de control bidireccionales en el lado de carga.

Cuando la carga del edificio dicta una necesidad por enfriar, el control de la planta activa un chiller primero, llamado chiller primario. Este chiller tiene un programa de cronómetro para permitirle enfriar el agua del suministro antes de empezar la segunda (retraso) máquina. El chiller primario continúa trabajando para satisfacer los requisitos de la carga. Cuando llega a su máxima capacidad, y la carga del edificio es aproximadamente 50% (basado en la sistema suministro agua temperatura, temperatura de agua de retorno, temperatura delta o kW%), el sistema de control de la planta de chiller reduce el trabajo del chiller primario y activa el chiller secundario. Reduciendo el trabajo del chiller primario antes de arrancar el chiller secundario ayuda en evitar los costos de demanda que pueden ocurrir al operar un chiller a la capacidad máxima mientras se esta activando otro. De este punto, si las cargas del edificio aumentan, los dos chillers trabajan juntos como un sistema, para satisfacer la demanda del edificio. Un cálculo predicativo de carga está incorporado en el control de la planta para determinar cuando el chiller secundario puede desactivarse.

### **Tres chillers- dos de capacidades iguales, uno de menos capacidad.**

La estrategia de configuración asimétrica ha sido muy utilizada, ya que el hecho de emplear chillers de diferentes capacidades permite lograr un ajuste más eficiente del sistema ante las variaciones de carga.

Un caso de estudio desarrollado por la CARRIER [9] expone el uso de 3 chillers, dos de igual capacidad con una distribución de la carga de 40% cada uno y uno de menor capacidad de 20 % de la carga. Esta distribución garantiza que para bajas cargas por debajo del 20 % se trabaje con el de menor capacidad, y en función del incremento de la necesidad de frío entran en funcionamiento los otros dos chillers, actuando el chiller de menor capacidad como un equipo de arranque y reserva.

### **El flujo variable de agua del condensador.**

La estrategia específica de Flujo variable de Agua del Condensador no se usa mucho por ingenieros y expertos en realidad porque ellos piensan que el esfuerzo por desarrollar esta estrategia no tiene mucho beneficio.

La tasa de flujo del chiller se establece por el fabricante para cumplir con la demanda máxima del chiller y también es basado en la operación proyectada de una torre de enfriamiento. Como el fabricante del chiller y la torre de enfriamiento son diferentes, el criterio del diseño se vuelve arbitrario. Una regla típica de dedo para enfriamiento por chiller es 3 gpm / ton-rated. Ésta no es una regla fija y a veces donde el tamaño de la torre de enfriamiento esta limitada, el diseño del chiller se re-configura para operar a 2 gpm / ton.

ASHRAE recomienda una velocidad del flujo de agua del condensador mínima de 3.3 pies/sec para mantener la velocidad turbulenta y prevenir formación de depósitos en el condensador. Este 3.3 pies/sec es mucho mayor que el 6 a 8 pies/sec encontrado en los chillers modernos. [10]

El ahorro se realiza del las siguientes formas:

1. Disminución del flujo de agua del condensador como una función de demanda del chiller permite obtener el ahorro directo de energía que consumen las bombas.

2. También, disminuyendo el flujo de agua del condensador moderadamente a través de la torre de enfriamiento aumenta su eficiencia. Entonces pueden combinarse la estrategia de flujo variable de agua de condensador y el alivio de temperatura de torre de enfriamiento para el ahorro grande de energía.

### **El alivio de la temperatura de torre de enfriamiento.**

Una planta de chiller se diseña para un funcionamiento de 100% con las bombas de condensador y las torres de enfriamiento. Con el funcionamiento a la capacidad de carga parcial la torre de enfriamiento y la bomba todavía operan a capacidad máxima.

Un ejemplo simple; la planta de chiller esta 85% cargado pero las condiciones externas (la humedad) son máximos. El ventilador de la torre de enfriamiento se requerirá operar a velocidad máxima para lograr el “set point” de la temperatura de agua de condensador deseada. Con más bajas situaciones de cargas parciales y bajas condiciones ambientales, El ventilador de la torre de enfriamiento se exigirá trabajar más que se necesita para lograr el “set point”. Bajo estas condiciones, si la velocidad máxima del ventilador está limitada, los ahorros en la energía del ventilador de enfriamiento serán más que el aumento pequeño en el uso de energía del chiller.

Una estrategia del control que se diseña para lograr este equilibrio se llama el alivio la Temperatura de la Torre de enfriamiento.

### **Sistemas con flujo variable**

El flujo de agua helada es un parámetro que tiene gran influencia en la operación eficiente del sistema.

El control de este flujo permite ajustar el agua enviada a los consumidores en función de la demanda de carga térmica del sistema.

Para regular este parámetro se utiliza la estrategia de sistema con flujo variable que ha tenido aceptación en los últimos años, múltiples experiencias se han materializado obteniendo incrementos de eficiencia con su aplicación. [11]

Este método utiliza un variador de velocidad que permite la reducción del consumo de energía en las condiciones de cargas parciales al circular menos flujo de refrigerante por el sistema. Los ahorros de energía reportados pueden llegar hasta un 30 % con respecto al consumo de un sistema con flujo constante. [11]

A continuación se muestra un estudio realizado por la TRANE, donde se demuestra la efectividad de esta estrategia.

Opción	Consumo Bomba, kWh	Consumo Chiller, kWh	Consumo Sistema, kWh
Serie-flujo constante	26,658	325,480	392,501
Serie-flujo variable	16,108	325,480	381,951
Paralelo-flujo constante	28,897	335,684	405,187
Paralelo-flujo variable	12,617	340,512	393,850

**Tabla 2.1 Chiller de 440 ton enfriado por aire**

El consumo de la bomba se basa en un motor de 92% de eficiencia y el consumo de energía del sistema incluye los ventiladores del condensador, las bombas y los compresores del chiller.

Se observa que para igual diferencia de temperatura y configuración en serie la estrategia de flujo variable representa una reducción del consumo de la bomba de 39,5 %, manteniendo constante el consumo del chiller y logrando una reducción del consumo de energía en el sistema de 2,8 %.

## **Operación en Serie o Paralelo.**

Un criterio generalizado de cual disposición es la mejor a utilizar para la interconexión de los chillers no existe, ya que existen diferentes factores de diseño, explotación y externos que determinan las ventajas y desventajas de cada una de las formas de interconexión.

### **Chillers en Series.**

La configuración en serie es muy empleada ya que con esta opción se logran altos valores de diferencia temperatura entre la salida y retorno del agua helada, pero presenta la desventaja del incremento del costo de bombeo. En la tabla 2.1 se observa que el consumo por bombeo con respecto a la configuración en paralelo se incrementa en 21,73 %. No obstante, la reducción en el consumo del chiller es de 4,55 % para el caso que se evalúa.

La eficacia del sistema (COP) es afectado por la configuración de la tubería de los Chillers. Cada Chiller en paralelo debe producir el agua más fría requerida por el sistema. Sin embargo, cuando se configuran chillers en serie, el segundo (o tercero) chiller en el sistema opera a una presión de succión más alta (temperatura del evaporador más alta) y usa menos energía para condiciones de cargas grandes de enfriamiento. Un inconveniente a la configuración en serie es que para las cargas pequeñas de enfriamiento, el agua helada todavía se bombea a través del chiller desconectada. Entonces, la bomba debe seleccionarse para operar a una resistencia más alta debido a dos o más chillers en serie.

Para optimizar este sistema, un bypass se agrega alrededor del chiller desconectada. La potencia consumida por la se reducirá cuando el chiller en serie se desconecta. El caballo de fuerza de la bomba también puede reducirse si el volumen total de agua enfriada puede reducirse y el impulsor de la bomba ajustado.

## **Chillers en Paralelo.**

El uso de los chillers en paralelo tiene la desventaja de que pueden aparecer problemas con la mezcla de las corrientes cuando uno de los chillers está fuera de servicio, lo que provoca un incremento de la temperatura del agua helada a la entrada del evaporador. Se necesita en este caso una bomba primaria que trabaje en función de la carga de enfriamiento requerida.

En algunos funcionamientos de chillers múltiples en paralelo, el agua helada siempre se circula a través de todas los chillers aunque sólo un chiller está operando para satisfacer la demanda pequeña de carga. Este resulta en energía gastada por las bombas

Para optimizar un sistema de chiller en paralelo se requiere la instalación de bombas múltiples, uno para cada chiller. Bajo cargas pequeñas se aislarán chillers desconectados. Solamente los chillers y las bombas activadas estarán operando, reduciendo el consumo de energía de las bombas. Los chillers activados operan a temperaturas del evaporador y agua para satisfacer la carga si el volumen de agua helada a través del chiller se puede reducir y el impulsor de la bomba ajustado. Otra solución, es la instalación de bombas que operan a velocidad variable.

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

Con el aumento de la temperatura del evaporador y la temperatura del agua helada, el COP del sistema aumenta también y el consumo del compresor disminuye.

El ajuste de la temperatura del agua helada a la entrada o salida del evaporador, constituye una práctica común para reducir los consumos de energía en chillers. En los sistemas de flujo constante se puede lograr el ajuste muy fácilmente regulando la temperatura de retorno con el consiguiente ahorro de energía. En los sistemas con flujo variable elevar la temperatura de suministro del agua

incrementa los costos de bombeo, mientras que el COP se incrementa de en el rango de 2.8 hasta 6. [12]

El uso de esta estrategia requiere un especial cuidado debido a que un excesivo aumento en la temperatura de suministro del agua provoca el aumento de temperatura del aire a través del fan coil, afectándose las condiciones de confort por el hecho de no lograrse la correcta deshumidificación del aire .

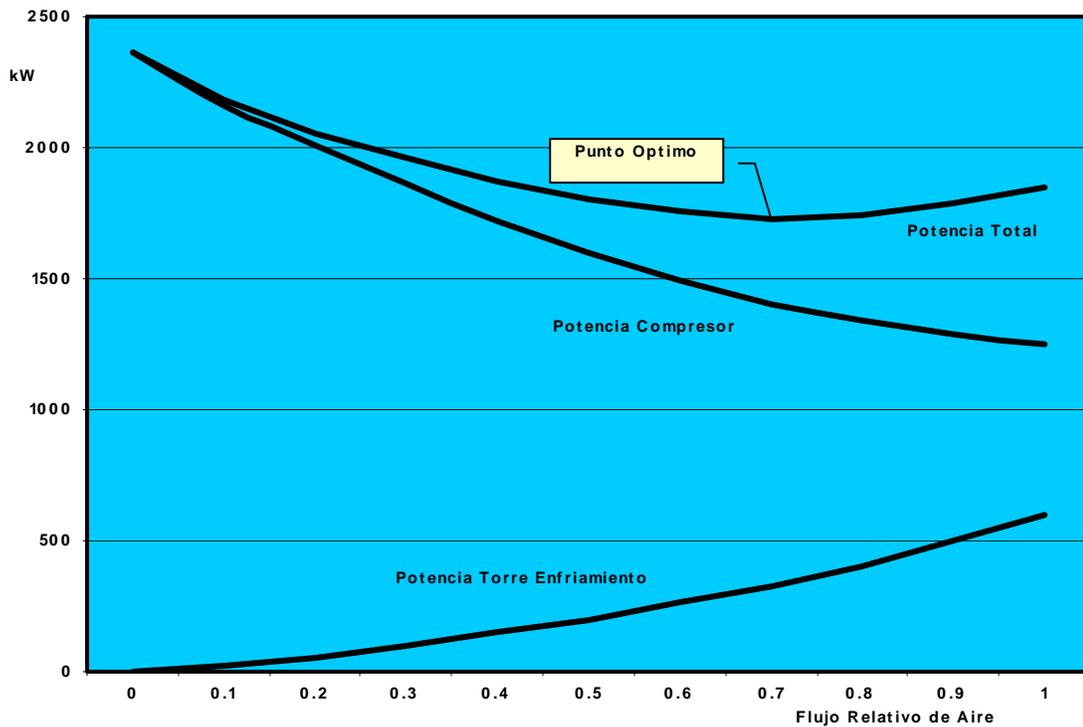
La norma ASHRAE 90.1-2001, Sección 6.3.4.3, sugiere el uso del ajuste del set point del agua helada en sistemas de más 25 ton de capacidad. Esto excluye sistemas de flujo variable por lo anteriormente expuesto, y sistemas en los cuales este comprometido el confort.

Esta estrategia, sin dudas, provoca una reducción significativa en el consumo del chiller. Cuando el chiller trabaja totalmente descargado se produce un acercamiento entre la temperatura de retorno y la de suministro, lo cual disminuye el consumo del chiller, pero puede afectar su vida útil por el hecho de disminuir los intervalos de trabajo del compresor. Esto último puede traer dificultades en el retorno de aceite al compresor, así como problemas de enfriamiento, ya que en la mayoría de los casos son compresores enfriados por el gas de succión.

### **Ajuste de la temperatura del agua de enfriamiento en los chillers enfriados por agua**

La temperatura de entrada del agua a los chillers tiene gran influencia en la eficiencia global del sistema. Una disminución en la temperatura del agua reduce la temperatura de condensación, y por tanto, disminuye el consumo de potencia del compresor. En general, por cada grado de disminución en la temperatura de condensación la eficiencia del chiller aumenta un 2 % aproximadamente [9].

Los controles de la torre de enfriamiento posibilitan ajustar la temperatura de entrada al condensador mediante la regulación del flujo de aire, escalonando el trabajo de los ventiladores o variando su velocidad. Por supuesto, que un aumento del flujo de aire incrementa el consumo de potencia de los ventiladores, de modo que el objetivo es encontrar el balance que proporciona el consumo de potencia total mínimo (figura 2.2).



**Figura 2.2 Influencia del Flujo de Aire en la Torre de Enfriamiento sobre el Consumo de Potencia en los Chillers**

Hay que tomar en consideración que si la temperatura en el condensador es muy baja se puede afectar la capacidad máxima del chiller. La capacidad máxima del chiller está limitada por la diferencia de presión requerida para hacer circular la masa de refrigerante necesaria a través del condensador y el dispositivo de expansión. Esto limita la presión mínima en el condensador y la temperatura mínima del agua de enfriamiento, en dependencia de las condiciones ambientales y de carga del sistema.

### **Conclusiones Parciales:**

1. Existen una serie de estrategias operacionales posibles de aplicar en los sistemas de climatización por agua helada que están en dependencia de las particularidades típicas del sistema y que conducen el ahorro de energía eléctrica.
2. La aplicación de estrategias operacionales en sistemas de climatización conducen un incremento de la eficiencia de los mismos pero es preciso velar por la calidad de otros factores determinantes como el confort de los clientes.

## Capítulo III: Caso de estudio hotel Jagua.

### 3.1 Descripción general y particularidades del Hotel Gran Caribe Jagua.

El Hotel "Jagua" con un estilo constructivo que responde a los códigos del racionalismo de los años 50, caracterizados por líneas rectas, planta libre, sobriedad y la utilización de colores pasteles, esta ubicado en la provincia de Cienfuegos, zona de mayor desarrollo turístico de la ciudad, conocida con el nombre de Punta Gorda. Su inauguración tiene lugar el 28 de Diciembre de 1959, con motivo a celebrarse la Convención Nacional del Club de Leones de Cuba pero oficialmente comenzó a brindar sus servicios a partir del 31 de Diciembre.

El Hotel Jagua Tiene como **misión**:

Satisfacer a cada momento a los clientes sobrepasando sus expectativas, brindándoles un servicio de excelencia y personalizado en un ambiente distintivo.

Y como **visión**:

"Hotel preferido por todos los clientes, con atractivos deseados por su estilo distintivo, en un ambiente seguro y hospitalario colocando a nuestro Hotel Gran Caribe Jagua como líder de la industria turística del País."

El Hotel Jagua es un hotel de cuatro estrellas perteneciente al Grupo Hotelero Gran Caribe con una capacidad de ciento cuarenta y nueve habitaciones (149) en el edificio principal con dos suite en el sexto y séptimo piso, cuenta también con un bloque de trece cabañas ubicadas en el área de la piscina. El área total ocupada por sus instalaciones asciende aproximadamente a 16871m<sup>2</sup>. Tiene un total de 135 trabajadores.

Hace aproximadamente 6 años que el Hotel Jagua fue sometido a remodelación. Uno de los aspectos que esto implicó fue la sustitución del sistema de climatización antigua, formada por los aires acondicionados tradicionales por otro sistema nuevo, centralizado, a partir de la instalación de dos máquinas enfriadoras (Chillers), de tecnología italiana y montadas por la empresa cubana FRIOCLIMA.

Las habitaciones poseen un acabado interior de material incombustible en paredes, pisos y carpintería. Este Hotel está construido con una estructura de concreto con paredes exteriores de bloque doble de quince centímetros con un espacio de aire en el centro para que estas paredes sean acústicas y paredes interiores de bloque sencillo, con ventanas de cristal en el edificio principal con vista a la parte norte y puertas de madera en el pasillo sur. Las cabañas están construidas de forma similar solo que la pared del lado norte de estas es de cristal, la tienda y el restaurante también poseen áreas acristaladas muy grandes con grandes ganancias de calor en esta zona.

La instalación está conformada por un bloque socio-administrativo y de mantenimiento y otro habitacional y de servicios, dentro de los cuales se encuentran los siguientes locales:

- Pisos habitacionales del 2<sup>do</sup> al 7<sup>mo</sup> nivel.
- Cabañas.
- Área de mantenimiento.
- Área de bombeo social y de incendios.
- Muelle.
- Almacenes.
- Informática.
- Balas de GLP.
- Cocina.
- Lobby.
- Lobby-Bar.

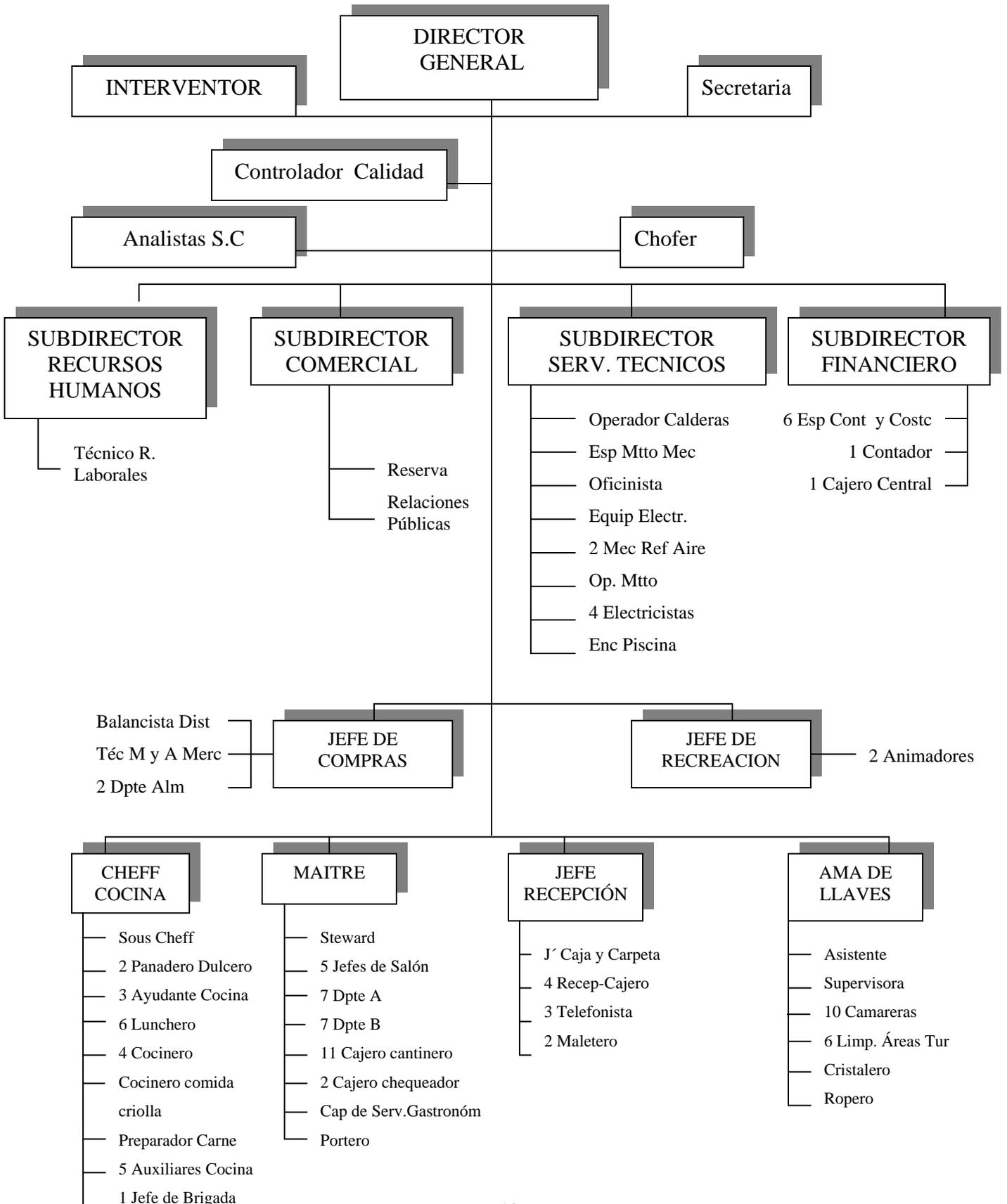
- Restaurante.
- Tienda.
- Carpeta.
- Cabaret.
- Grupo electrógeno.
- CGD.
- Piscina (Local de bombeo piscina).
- Cafetería.
- Azotea.

### **3.1.1 Descripción de las actividades que realiza.**

- El área de recepción y alojamiento es la encargada de coordinar las actividades de alojamiento referidas a la gestión de oferta de habitaciones, teniendo en cuenta las reservas, entradas, salidas y situaciones especiales tanto de clientes individuales como de grupo.
- El ama de llaves se encarga de coordinar las actividades relacionadas con la limpieza, acondicionamiento, confort, y puesto a punto de las habitaciones para su correcto servicio durante la estancia de los clientes.
- En el área de servicios gastronómicos, el maitre es el encargado de organizar los diferentes unidades de estos servicios en el hotel, desarrollando todas aquellas actividades que permitan realizar una mejor atención y comunicación con el cliente, promocionando o impulsando la venta de diferentes ofertas, efectuando operaciones de marketing interno, supervisando la higiene y presentación cuantitativa y cualitativa de los platos teniendo especial atención con los eventos, banquetes, discoteca y/o cabaret o actos específicos, buscando prestar mejor servicio y mayor rentabilidad del mismo

- El área de la cocina esta relacionada con la producción culinaria de los disertes servicios gastronomitos que ofertan, en ella se toman iniciativas y decisiones que permitan lograr los rendimientos previstos, satisfaciendo al cliente y potenciando la imagen del establecimiento.
  
- El área de servicio técnico es donde se organiza y se coordina todas las actividades de mantenimiento y conservación de las instalaciones, maquinaria, equipos y elementos necesarios para el buen funcionamiento del hotel y la prestación de sus servicios de acuerdo a los niveles de calidad, confort y comodidades establecidos para los clientes. Es también esta un área de resultados claves en cuanto a proyectos de innovación tecnológica, con el objetivo de mitigar los impactos ambientales.
  
- Recurso humano están encaminados a dotar a la instalación del personal necesario con la calefacción requerida y asegurar el uso racional de la fuerza de trabajo en dependencia de la etapa turística y garantizar la formación, preparación y desarrollo de los recursos humanos existentes, que permiten brindar un servicio de alta calidad.

## Organigrama Hotel Jaqua



## **3.2 Sistema de climatización del hotel Jagua.**

### **3.2.1 Descripción general del sistema.**

El sistema de climatización centralizado del hotel “Jagua” cuenta con dos enfriadoras de agua marca CHAW-T 1402 (enfriado por aire).

Estas unidades han sido especialmente diseñadas para su utilización en el campo de acondicionamiento de aire, siendo ideales para ser instaladas sobre edificios, terrazas, etc. Así como a nivel de suelo.

Están equipadas con compresores semiherméticos de tornillo y sistemas de control y seguridad, que garantizan un correcto funcionamiento, elevados rendimientos y una adecuada protección en régimen normal de trabajo.

Todas las unidades salen de fabrica, después de superar un riguroso control de calidad, pruebas de hermeticidad y con la carga de refrigerante necesaria y precisa para un funcionamiento correcto.

### **Circuito frigorífico.**

En igual número al de compresores, totalmente hermético y constituido básicamente por:

- Válvulas de líquido de cierre manual.
- Filtros deshidratadores con cartuchos recambiables.
- Visores de líquido con indicador de humedad.
- Válvulas de expansión termostáticas con equilibrados de presión externa.
- Válvulas de acceso tipo obús.
- Válvulas solenoide en línea de líquido.
- Mangueras antivibratorias en succión y descarga.
- Silenciador en la descarga.

### **Baterías condensadoras.**

Dispuestas en “W”, con cabezales en chapa de acero galvanizado. Aletas de aluminio y tubos de cobre expansionados mecánicamente. Con capacidad para subenfriamiento del líquido condensado. Esto permite obtener un mejor aprovechamiento de la capacidad frigorífica, sin aumentar la potencia consumida.

### **Evaporador.**

De tipo multitubular, horizontal, de expansión seca, constituido esencialmente por una camisa exterior de tubo de acero de alta resistencia y un haz de tubos de cobre rectos en su interior.

El refrigerante circula por el interior de los tubos y el agua lo hace por el exterior. En el interior de los tubos se introduce un perfil estrellado de aluminio que incrementa el intercambio térmico entre el refrigerante y el líquido a enfriar.

Con el fin de conseguir un mayor rendimiento se dispone una serie de separadores adecuadamente espaciados que obligan al agua a efectuar un recorrido con cambios bruscos de dirección, aumentando el coeficiente de transmisión de calor.

Constan de conexiones hidráulicas, drenajes, válvulas de purga y tomas de presión a la entrada y salida del agua. Los evaporadores están aislados térmicamente.

## **Compresores.**

Son del tipo semiherméticos de tornillo, para R-22. El compresor y el motor están situados en el interior de una carcasa herméticamente sellada. Sin embargo, el interior es accesible mediante tapas atornilladas, con lo que se consigue que sea hermético y accesible a la vez.

El motor incorporado es refrigerado por los gases de aspiración y está protegido por sondas termostáticas alojadas en el interior de las bobinas, cuyas señales son analizadas por un módulo electrónico y actúan sobre el circuito de control.

Una válvula de seguridad interna, comunica la descarga del compresor con la aspiración, cuando la presión diferencial entre ambas, sobrepasa la presión de ajuste de la misma.

La lubricación es forzada de la zona de alta presión a la de baja presión. El circuito de aceite incluye calentador del cárter, visor de nivel de aceite, filtro y válvulas de toma de presión.

Las unidades están diseñadas para arranque part-winding o directo a línea, dependiente de su capacidad, ya que al estar convenientemente temporizadas las etapas entre compresores el arranque se la unidad se produce a un por ciento de su capacidad total.

Están montados sobre amortiguadores, para reducir la transmisión de vibraciones.

## **Motoventiladores axiales.**

Los motoventiladores axiales son de transmisión directa en una sola unidad en la que el estator de dicho motor es a la vez el cubo del ventilador. La carcasa del motor y las aspas están fabricadas en fundición de aluminio, formando un solo cuerpo en el que la forma aerodinámica garantiza una elevada transformación

de energía y bajo nivel sonoro. La sujeción del motor se realiza mediante un soporte de acero al mueble de la unidad.

El motor es del tipo rotor exterior, provisto de termocontactos internos de seguridad y diseñado para soportar condiciones extremas de temperatura (hasta 67°C), con condensador permanente, protección IP-44.

Los motores de los ventiladores son regulables en velocidad por disminución de la tensión de alimentación hasta 60 voltios y soportan sobre tensiones normales de uso.

### **Circuito eléctrico.**

Contiene todos los elementos necesarios para la puesta en marcha de la unidad. Solo es necesario conectar a la red de alimentación eléctrica debidamente protegida.

### **Regulación y control.**

Está conformada por los siguientes elementos:

- **Termostato de regulación:** Provisto de un sensor colocado dentro de un pozuelo de cobre en perfecto contacto con el agua en el evaporador. Controla las válvulas solenoides de entrada de líquido refrigerante al evaporador, parcializando las cargas cuando la temperatura del agua en el evaporador desciende por debajo del valor de ajuste. Cada unidad incorpora un termostato de este tipo.
- **Termostato antihielo:** El sensor está colocado dentro de un sensor en perfecto contacto con el agua, situada en la cámara de salida del evaporador. Es de rearme manual, y detiene el funcionamiento del

compresor, si la temperatura de salida del agua es inferior al valor de ajuste.

- **Presostato de alta-baja presión:** Uno por cada circuito de refrigerante. Con rearme manual en alta y baja. Protege al compresor de los aumentos de presión y contra la falta de refrigerante. Para el compresor cuando las presiones de descarga o de aspiración no cumplen los requisitos de ajuste.
  
- **Presostato diferencial de aceite:** Protege al compresor de insuficiencias de lubricación, parándolo cuando la diferencia entre la presión de descarga de la bomba de aceite y la presión de aspiración, es inferior a un valor fijado. El diferencial está ajustado de tal forma que el compresor se para después de transcurrido el tiempo seleccionado. Hay uno por cada circuito de refrigerante y son de reposición manual.
  
- **Válvula solenoide:** Cierra el paso de líquido al evaporador evitando la inundación del mismo, y su consiguiente migración al cárter del compresor. Una por cada circuito de refrigerante.
  
- **Panel de manómetros:** Consta de los siguientes manómetros provistos de válvulas de cierre independientes:
  - Alta presión de refrigerante.
  - Baja presión de refrigerante.
  - Presión de aceite.

### Datos de chapa de los equipos.

<b>Unidades Enfriadoras</b>	
Marca: FRIOCLIMA	Temp. entrada aire: 32 °C
Modelo: CHAW –T 1402	Refrigerante: R-22
No. Serie: 409294	FLA: 335A
Capacidad frig: 404 kW	Peso 4135Kg.
Potencia abs: 187,1 kW	Año: 2000
Temp salida del agua: 6 °C	3F/60Hz/380V

<b>Evaporador</b>	<b>Válvula de expansión</b>
Modelo: CHAW 1402	Modelo: CHAW 1402
No Serie: 100434	No Serie: 100436
Presión Prueba: 20 bar	Presión prueba:30 bar
Presión máx. serv: 12 bar	Presión máx. serv: 20 bar
Volumen: dm <sup>3</sup>	Temp. máx. serv: 100 °C
Temp. máx. serv: 30 °C	Refrigerante: R-22
Temp. mín. serv: 5 °C	Año: 2000
Año: 2000	

<b>Fan – coil FBH - 6</b>	
Capacidad frigorífica:	5,4 kW.
Caudal de aire :	275 l / s.
Presión estática disponible:	40 Pa.
Potencia eléctrica:	230w, 220volt ,60 Hz.
Dimensiones:	1174*515*278 (mm).

<b>Fan – coil FBH - 4</b>	
Capacidad frigorífica:	3.78kW.
Caudal de aire :	192 l / s.
Presión estática disponible:	40Pa
Potencia eléctrica:	230w, 220volt,60 Hz
Dimensiones:	924*515*278 (mm)

<b>Compresores</b>	
Marca:	Bitzer
Modelo:	CSH – 7551-70-35P
Potencia eléctrica:	380V/3F/60Hz
Potencia nominal:	70 HP

<b>Datos de las bombas (Bombas ITUR)</b>				<b>Datos de los motores</b>						
No de bomba	Q (m <sup>3</sup> /h)	r.p.m	H (m)	Motor	V	Hz	r.p.m	kW	A	cos φ
<b>10, 9, 8</b>	24	1750	20	3 ~ M2AA	380 Y	60	1720	3	6.6	0.81
				100 LB-4	220 D	60	1720	3	11.4	0.81
<b>7, 6, 5</b>	52	1750	25	3 ~ M2AA	380 D	60	1735	7.5	15.3	8.86
				132 M-4	660 Y	60	1735	7.5	8.8	8.86
<b>4</b>	10.9	1750	30	3 ~ Cl.F	380 Y	60	1715	3	6.58	0.58
				IP55 M2AA 100 LB-4	220 D	60	1715	3	11.4	0.58

Datos de las bombas (Bombas ITUR)				Datos de los motores						
No de bomba	Q (m <sup>3</sup> /h)	r.p.m	H (m)	Motor	V	Hz	r.p.m	kW	A	cos φ
2,3, 1	70	1750	10	3 ~ M2AA	380 Y	60	1710	4	8.7	0.83
				112 M-4	220 D	60	1710	4	15.1	0.83
14, 13	2.9	1750	20	3 ~ M2AA	380 Y	60	1750	1.5	3.5	0.82
				090 L-4	220 D	60	1750	1.5	6.1	0.82
12,11	20.6	1750	15	3 ~ Cl.F IP55	220 D	60	1715	2.2	8.4	0.83
				M2AA 100 LA-4	380 Y	60	1715	2.2	4.83	0.83

Los compresores están diseñados para que trabajen en tres escalones diferentes según sea la necesidad.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Temperaturas (°C)</b>			
Temperatura de entrada	13,2	14	15,3
Temperatura de salida	12,1	11,6	13
Temperatura del aceite	79,5	59,8	40,9
Temperatura de rec.	50	47,7	47,3
Set point	12	12	12
<b>Compresores (Bar)</b>			
Capacidad de compresión	50%	75%	100%
Presión de succión	4,1	3,1	4,1
Presión de descarga	15,2	15,9	18,4
Presión de aceite	14,2	15,4	18,2

### **3.3 Posibles Estrategias Operacionales en el Hotel Jagua.**

Después de un estudio de las posibilidades que brinda el sistema de climatización del hotel Jagua, se determina que en los momentos actuales es posible la aplicación de dos estrategias operacionales, encaminadas al ahorro de energía. A continuación se describen dichas estrategias y se hace un análisis detallado de la variación de la temperatura del agua helada en dicho sistema.

#### **3.3.1 Estrategia de Fan Cycling (Reciclaje de Ventiladores)**

Esta estrategia se basa fundamentalmente en el hecho de poner en marcha un determinado número de ventiladores en los condensadores enfriados por aire, teniendo en cuenta los valores de la presión de condensación.

Sistema de condensación de hotel Jagua:

Presenta un total de 4 ventiladores por compresor

2 funcionan continuamente

2 funcionan cuando las condiciones ambientales lo requieren y tienen posiciones ON-OFF

Se propone:

Instalar CTC “condensing temperature control”

Debido a que la temperatura de condensación depende directamente de la temperatura ambiente, es posible operar los chillers de acuerdo a la temperatura de condensación que implique menos consumo de energía para los compresores.

Desde el punto de vista termodinámico a medida que aumenta la temperatura de condensación, aumenta la presión de condensación y la relación de compresión del sistema de refrigeración trayendo consigo un aumento del consumo de

energía eléctrica y una disminución de la vida útil del compresor. La aplicación de una estrategia de control del sistema de condensación posibilita la reducción en los gastos de energía a partir de una explotación adecuada del chiller.

Aplicando una estrategia de control del sistema de condensación posibilita la reducción en los gastos de energía.

En el caso de hotel Jagua, los chillers están equipados con 8 ventiladores de operación continua; 4 trabajan continuamente y 4 presentan regulación de (ON-OFF) a partir de la presión de condensación mediante HPC “high pressure control”

### **Propuesta a Implementar en el sistema enfriamiento (condensación)**

El hecho de poder regular los ventiladores en un rango mayor y de no operar dos de ellos continuamente permitirá la reducción del consumo de energía en momentos que las condiciones de operación lo permitan.

Se propone utilizar todos los ventiladores de velocidad variables de forma automática en distintas situaciones, evitando la operación continua en casos que no lo requiera.

### **3.3.2 Estrategia de variación del set point en el Hotel Jagua**

#### **Explicación general de la estrategia**

La variación de la temperatura del agua helada en los chillers resulta ser una de las más utilizadas conjuntamente con la utilización de los variadores de velocidad cuando se utilizan de bombas de flujo variable.

Elevar la temperatura de agua helada se justifica en sistemas de grandes capacidad. Es preciso destacar que el set point del agua helada se puede ajustar por la temperatura de salida o por la temperatura del retorno, prestando atención a las condiciones de confort del local, además garantizar el correcto funcionamiento de los chillers desde el punto de vista técnico.

#### **Metodología utilizada en Hotel Jagua**

El sistema de bombeo de agua helada es de flujo constante con válvulas de tres vías. Debido a ello no es posible instalar variadores de velocidad en las bombas para la regulación del flujo de agua debido a su elevado costo asociado por remodelación del sistema.

#### **Ajuste del set point**

Normalmente la temperatura de envío del agua helada se encuentra a 7 °C. Sin embargo, es posible en la época de invierno elevar la temperatura hasta valores superiores. En este caso particular se varió la temperatura del agua desde 11 °C hasta 12 °C durante días 2 y 3 de Febrero y de 12 °C hasta 13 °C durante días 4 a 7 del mismo mes.

## Técnicas de ajuste del set point

El set point se varió dos veces al día, tomando como valor fijo en esos días 11<sup>o</sup>C.

Estos ajustes se realizaron cada 12 horas (7am y 7pm) variando el set point de 11<sup>o</sup>C en horas de la mañana a 12<sup>o</sup>C por la noche. Se utilizaron estas horas para la variación del set point por razones estratégicas y operativas del hotel, teniendo en cuenta que normalmente a partir de las 4pm de la tarde varía sensiblemente la ocupación del hotel pero las temperaturas exteriores disminuyen.

Posteriormente se elevó la temperatura en un 1<sup>o</sup>C y se realizaron pruebas con el set point de 12<sup>o</sup>C y 13<sup>o</sup>C respectivamente. El ajuste se realizó de forma manual desde la sala de control y se utilizó un analizador de redes del tipo Powersight PS-3000 para la medición de potencia en el chiller, cuyas características se reflejan a continuación.

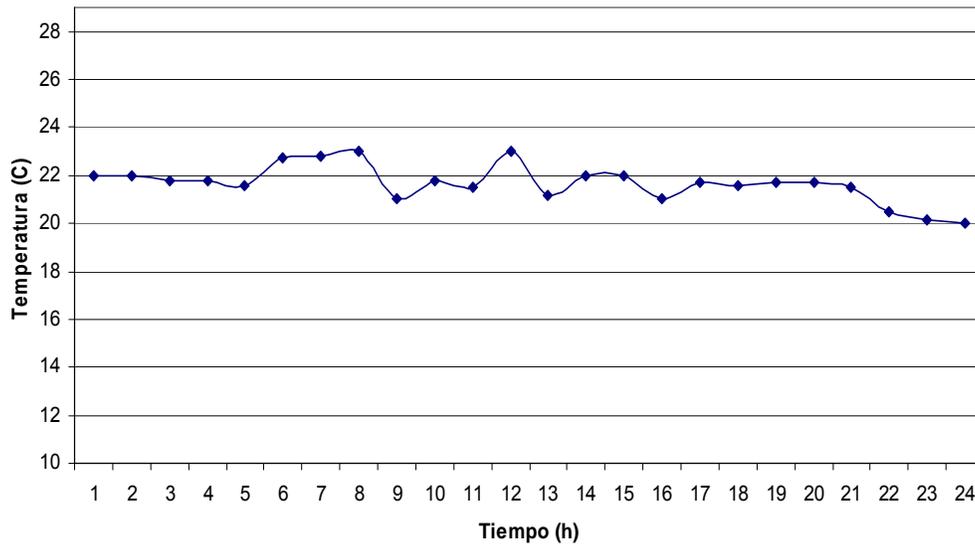
### Características del Analizador Powersight PS-3000

Parámetro	Frecuencia de medición	Equipo	Características del equipo
Consumo	1h	Analizador de redes eléctricas	Precisión de voltaje 0,5% Precisión de corriente 0,5% Precisión de frecuencia 0,5%

### 3.4 Condiciones de operación durante los días de prueba

Los factores climatológicos (temperatura ambiental y humedad relativa) se toman en cuenta durante el análisis del consumo de energía de los chillers. Estas condiciones climatológicas se obtuvieron a partir de los datos suministrados por el Instituto de Meteorología de Cienfuegos (ver anexo II) además se tuvo en cuenta el indicador habitación día ocupado HDO que es muy importante a la hora de definir la carga térmica de climatización de una instalación de este tipo.

Las condiciones de confort se midieron dentro de la habitación al variar el set point del agua helada utilizando un medidor compuesto de temperatura y humedad relativa Modelo SUPCO RS-232 y se mantuvieron dentro de las normas establecidas o cuadro de confort.



**Figura 3.1 Comportamiento típico de la temperatura dentro habitación**

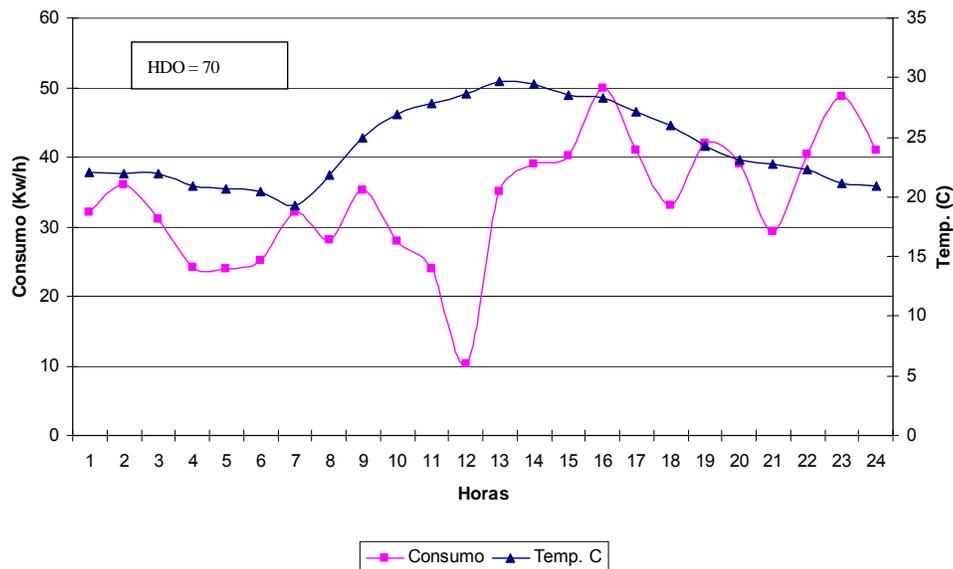
En el anexo VIII se muestra el comportamiento de la temperatura para los días de pruebas comparados.

**Tabla 3.1 Resultados de la prueba**

Días	Consumo (Kwh)	Temperatura Exterior Promedio (°C)	% de Ocupación
2-Feb-2006	902.2	22.87	90
3-Feb-2006	879.24	22.78	93
4-Feb-2006	858.1	23.28	85
5-Feb-2006	808.9	24	70
6-Feb-2006	876.94	23.3	88
7-Feb-2006	831.6	22.36	91

A continuación se muestra gráficamente el comportamiento del consumo del chiller con respecto a la temperatura ambiental de uno de los días de prueba.

**Análisis de consumo con respecto a la temperatura ambiental**



**Figura 3.2 Análisis del consumo del chiller con respecto a la temperatura ambiental**

### 3.5 Análisis de resultados

En el anexo IV aparece la grafica de de consumo del chiller contra tiempo con respecto a la temperatura ambiental.

Como se puede observar en los gráficos, en el comportamiento general se aparecían picos de consumo alrededor de las 4:00 PM y 5:00 PM debido a la entrada masiva de los turistas y, el tipo de turismo que predomina en esta instalación. Los valores mínimos se encuentran entre las 11:00 AM y la 1:00 PM.

Se tomaron dos días bases de medición para analizar la diferencia de consumo de potencia en el chiller al operar a distintos valores de set point. Los niveles de ocupación de esos días y las temperaturas exteriores se comportan de forma semejante l o que posibilitó hacer una comparación entre los días de prueba.

#### Consumo para el día 2 de febrero

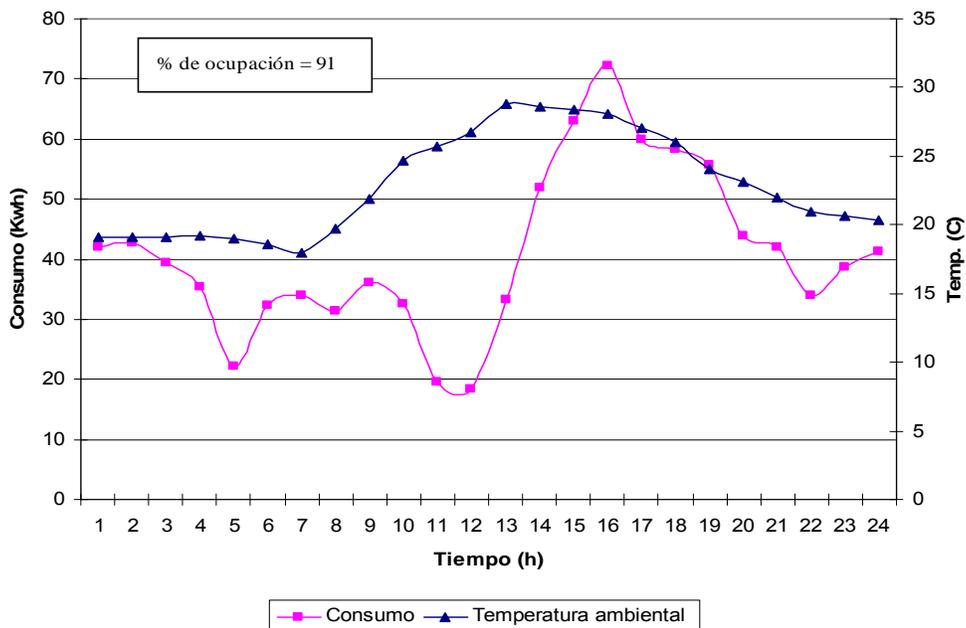


Figura 3.3 Análisis del consumo del chiller para el día 2 de febrero

### Consumo para el día 7 de febrero

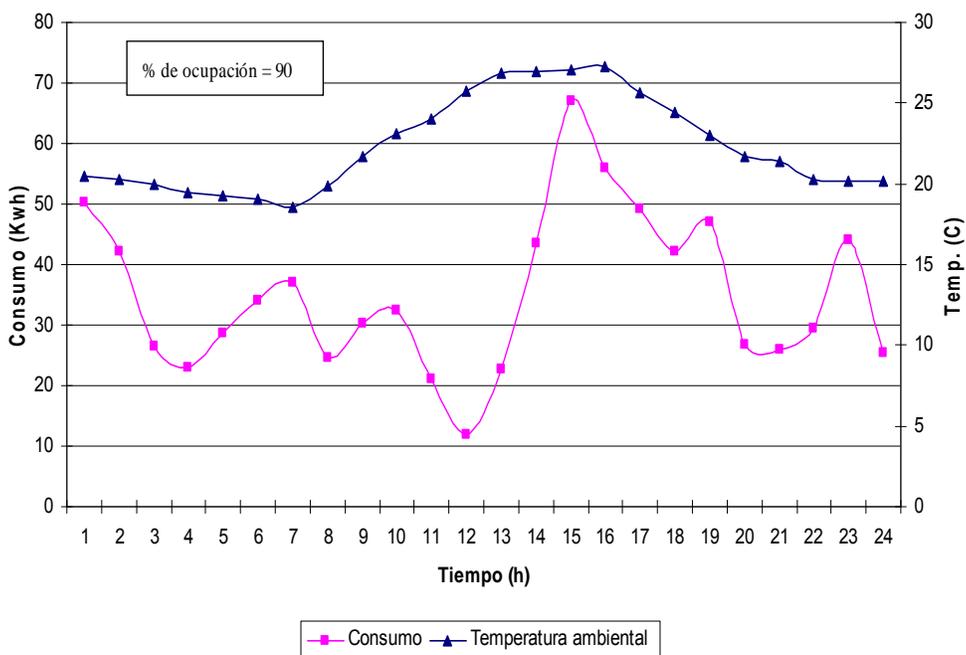


Figura 3.4 Análisis del consumo del chiller para día 7 de febrero

### Relación de consumo entre los días 2 y 7 de febrero 2006

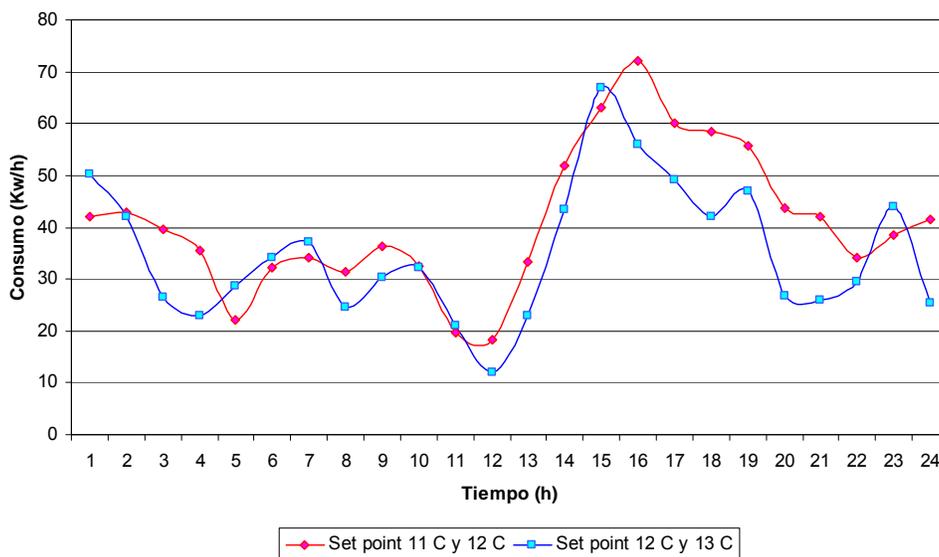


Figura 3.5 Análisis del consumo del chiller para día 2 y 7 de febrero

## Comparación de los días

Al comparar los días 2 y 7 de Febrero (ver figura 3.5), que muestran condiciones similares de operación, es evidente que al incrementar la temperatura de salida del agua helada (el set point) provoca una disminución del consumo del chiller, es decir que el chiller opera más eficiente. En el día 2 el chiller consumió un total de 980.6 Kwh mientras que en día 7 consumió un total de 840.7 Kwh.

## 3.6 Evaluación Económica

### Tarifas

12:00 AM – 6:00AM  $\Rightarrow$  \$0.06 Kwh

6:00 AM – 5:00 PM  $\Rightarrow$  \$0.09 Kwh

5:00 PM – 8:00 PM  $\Rightarrow$  \$0.17 Kwh

8:00 PM – 12:00AM  $\Rightarrow$  \$ 0.09 Kwh

Intervalo de tiempo (h)	Consumo (Kwh) 2-feb-2006	Consumo (Kwh) 7-feb-2006
12:00 AM – 6:00AM	214.3	204.5
6:00 AM – 5:00 PM	452.3	395.6
5:00 PM – 8:00 PM	158	115.7
8:00 PM – 12:00AM	156	124.9

### *Aplicando las tarifas:*

En el día 2 de febrero 2006 el chiller consumió 980.6 Kwh a un costo de \$94.46

En el día 7 de febrero 2006 el chiller consumió 840.7 Kwh a un costo de \$78.78

### Ahorro Diario

Al variar el dicho set point el chiller ahorró **139.9 Kwh**, con un ahorro económico de \$15.68 CUC/día

### Ahorro mensual

$$15.68 \frac{kWh}{día} \times 30 \frac{día}{mes} = 4197 \frac{kWh}{mes}$$

### Ahorro anual

$$4197 \frac{kWh}{mes} * 12 = 50364 \frac{kWh}{mes}$$

### Ahorro Económico

$$\$470.4 \frac{CUC}{mes} \times 12 = \$ 5644.80 \text{ CUC/año}$$

### 3.7 Impacto Ambiental

El hecho de reducir el consumo eléctrico de hoteles también beneficiará al medio ambiente adicionalmente al beneficio de ahorrar dinero ya que al disminuir la generación de energía eléctrica, se disminuye la emisión de Dióxido de Carbono a la atmósfera, que es el principal componente que ocasiona el Efecto Invernadero.

Impacto Global Total (TEWI), se calcula por la siguiente formula:

$$TEWI = Ed + Ei$$

Donde:

Ed - efecto directo

Ei – efecto indirecto

Ed en este caso el efecto es nulo porque en el sistema de climatización se usa el mismo refrigerante durante las pruebas refrigerante R-22.

$$Ei = N_{op} \left( \frac{Kwh}{tiempo} \right) * e_{CO_2} \left( \frac{Kg_{CO_2}}{Kwh} \right)$$

$$e_{CO_2} = 0.94 \left( \frac{Kg_{CO_2}}{Kwh} \right)$$

Resultados:

Set Point (°C)	N <sub>op</sub> (Kwh/día)	Emisión Atmosférica $\left( \frac{Kg_{CO_2}}{dia} \right)$
11 y 12	980.6	921.764
12 y 13	840.7	790.258

En el hecho de variar el set point resulta en disminuir la emisión del CO<sub>2</sub> a la atmósfera por 131.50 Kg.

## Conclusiones:

1. Se ha evidenciado que el cambio del set point en sistema de clima centralizado por agua helada es efectivo y factible.
2. Al aplicar esta estrategia en el caso del hotel agua se demuestra que se ahorran por concepto de variar el set point \$ 5644.80 CUC/año
3. Desde el punto ambiental es significativo el impacto ambiental al dejarse de emanarse al medio ambiente  $47999.69 \text{ Kg}_{co_2} / \text{año}$
4. En los estudios realizados se tiene en cuenta que existen otros alternativos de operación en el hotel Jagua pero no son factibles técnicamente.

**Recomendaciones:**

1. Aumenta el periodo de pruebas para recopilar otros datos del chiller del hotel Jagua operando en las nuevas condiciones de la instalación, después de instalarse los demás compresores.
2. Implementar la estrategia de reciclaje de ventiladores (fan cycling), conjuntamente con la operación de los chillers en paralelo para lograr ahorros de energía por concepto de eficiencia en la condensación.

## Referencia Bibliografica

1. Ministerio de Turismo. Tomado De:  
[http://www.cubagob.cu/des\\_eco/turismo.htm](http://www.cubagob.cu/des_eco/turismo.htm), marzo 22 del 2007.
2. Cuban official projects 10 percent economic growth for 2007. Tomado De:  
<http://www.iht.com/articles/ap/2007/02/10/business/LA-FIN-Cuba-Economy.php>, marzo 22 de 2007.
3. AHRAE HVAC Systems and Equipment.--Georgia: Editorial Atlanta, 1996.--[s.n]
4. ARTI Announces Final Report on the Benefits of Variable Primary Flow Chilled Water Systems.Tomado De: <http://www.arti-21cr.org/> , abril 5 del 2007.
5. Hernández Jorge Msc, Ahorro de energía y agua en la industria hotelera. Tomado De:  
[http://www.ase.org/uploaded\\_files/dr\\_2006/watergy\\_hernandez.pdf](http://www.ase.org/uploaded_files/dr_2006/watergy_hernandez.pdf), febrero 27 del 2007
6. Montesino, Milagros. Gestión de la Energía en Hoteles Turísticos en Cuba.-- Cienfuegos, 2005.--[s.p]
7. A Preliminary Assessment of Strategies to Raise the Off-Design Energy Efficiency of Chiller Machines. Tomado De:  
[http://ciee.ucop.edu/multiyear\\_projects/EXP/old\\_exp/exp.beyene.html](http://ciee.ucop.edu/multiyear_projects/EXP/old_exp/exp.beyene.html), abril 5 de 2007
8. Introduction. Tomado De: <http://www.me.gatech.edu/energy/beth/one.htm>, marzo 30 del 2007
9. Tosí, Mark J. Chiller Control Plant. Carrier Corporation.--New York: Syracuse, 1999.--[s.p]
10. Performance enhancements for chillers. Tomado De:  
<http://www.coolenergytech.com/Enhancements.htm>, abril 10 del 2007
11. PowerSav variable speed system aplicaciones Bulletin D-120 Bw. Tomado de: <http://wea-inc.com/pdf/D120Bw.pdf>, Marzo 30 del 2007

12. Small Chilled Water Systems. Tomado De:

[www.trane.com/commercial/library/vol32\\_4/ADM\\_APN009\\_EN\\_1203.pdf](http://www.trane.com/commercial/library/vol32_4/ADM_APN009_EN_1203.pdf), marzo 5 se 2007

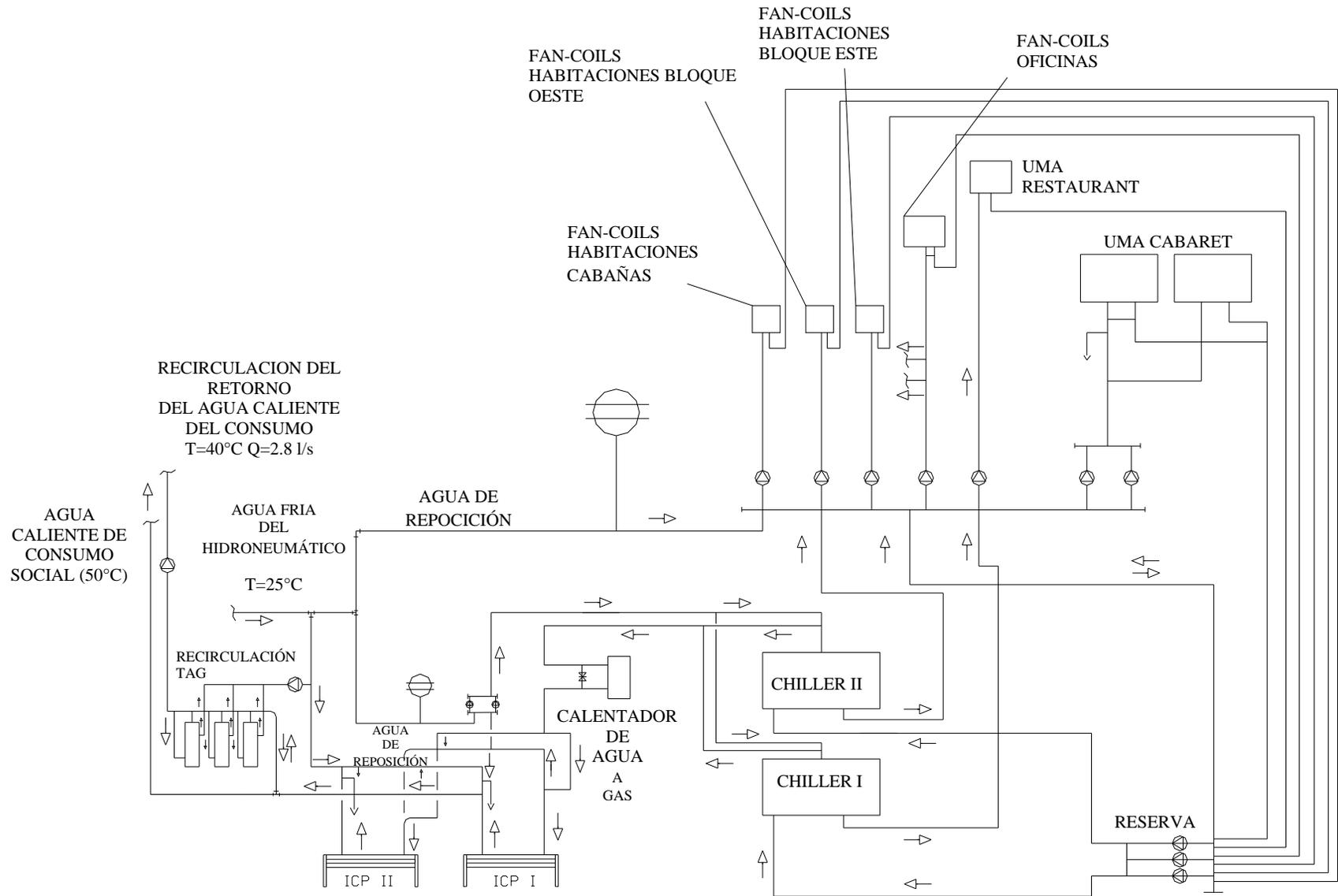
13. Influencia de las principales variables climatológicas en la operación de los sistemas de climatización por agua helada.-- Cienfuegos: CETAS 2005.--16h

## Bibliografía

- A Preliminary Assessment of Strategies to Raise the Off-Design Energy Efficiency of Chiller Machines. Tomado De: [http://ciee.ucop.edu/multiyear\\_projects/EXP/old\\_exp/exp.beyene.html](http://ciee.ucop.edu/multiyear_projects/EXP/old_exp/exp.beyene.html), abril 5 de 2007
- AHRAE HVAC Systems and Equipment.--Georgia: Editorial Atlanta, 1996.--[s.n]
- ARTI Announces Final Report on the Benefits of Variable Primary Flow Chilled Water Systems. Tomado De: <http://www.arti-21cr.org/> , abril 5 del 2007
- Cuban official projects 10 percent economic growth for 2007. Tomado De: <http://www.iht.com/articles/ap/2007/02/10/business/LA-FIN-Cuba-Economy.php>, marzo 22 de 2007.
- Escobar Palacio, J. C. Análisis Estacional del Comportamiento Energético del Hotel Jagua/J.C. Escobar Palacio.-- Cienfuegos:[s.n],2004.--97p
- García, Duniesky. Análisis de la Influencia de Factores Climatológicos y Alternativas Operacionales en el Consumo Energético de los Sistemas Centralizados de Climatización por Agua Helada/ Duniesky García; Margarita J. Lapidó Rodríguez, tutor.--trabajo de diploma Ucf (Cf). 2005,--71h
- Hernández Jorge Msc, Ahorro de energía y agua en la industria hotelera. Tomado De: [http://www.ase.org/uploaded\\_files/dr\\_2006/watergy\\_hernandez.pdf](http://www.ase.org/uploaded_files/dr_2006/watergy_hernandez.pdf), febrero 27 del 2007
- Influencia de las principales variables climatológicas en la operación de los sistemas de climatización por agua helada/Sergio Hernández...[et.al.]-- Cienfuegos: CETAS, 2005.--16p
- Introduction. Tomado De: <http://www.me.gatech.edu/energy/beth/one.htm>, marzo 30 del 2007

- Ministerio de Turismo. Tomado De:  
[http://www.cubagob.cu/des\\_eco/turismo.htm](http://www.cubagob.cu/des_eco/turismo.htm), marzo 22 del 2007.
- Montesino, Milagros. Gestión de la Energía en Hoteles Turísticos en Cuba/ Milagros Montesino.-- Cienfuegos: CETAS, 2005.--[s.p]
- PowerSav variable Speed system aplicaciones Bulletin D-120 Bw. Tomado De: <http://wea-inc.com/pdf/D120Bw.pdf>, Marzo 30 del 2007
- Small Chilled Water Systems. Tomado De:  
[www.trane.com/commercial/library/vol32\\_4/ADM\\_APN009\\_EN\\_1203.pdf](http://www.trane.com/commercial/library/vol32_4/ADM_APN009_EN_1203.pdf), marzo 5 se 2007
- Tosí, Mark J. Chiller Control Plant. Carrier Corporation/Mark J. Tosí.--New York: Syracuse, 1999.--[s.p]

# Anexo I Plan de Hotel Jagua



## Anexo II Temperatura ambiental

DIA	Hora											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2-2-06	19.1	19.1	19.1	19.2	19	18.6	18	19.7	21.9	24.7	25.7	26.7
3-2-06	19.9	19.8	19.8	18.1	18	17.9	17.7	19.5	21.3	23.6	24	27.6
4-2-06	19.4	19.3	19.2	18.7	18.6	18.5	18.4	20.1	22.9	25.2	26.2	27.2
5-2-06	22.1	22	21.9	20.9	20.7	20.5	19.3	21.8	24.9	26.9	27.8	28.7
6-2-06	21.1	21	21	20.2	20	19.2	18.5	20.1	23	24.9	25.6	27.5
7-2-06	20.5	20.3	20	19.5	19.3	19.1	18.5	19.9	21.7	23.1	24	25.7

DIA	Hora											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2-2-06	28.8	28.6	28.4	28.1	27.1	26	24.1	23.1	22	21	20.7	20.3
3-2-06	29.1	28.9	28.7	28.2	27.2	25.8	24.1	23.1	22	21.3	20.9	20.4
4-2-06	29.4	29.3	29.2	29.2	28.2	26.1	24.2	23.2	22.1	21.9	21.4	20.9
5-2-06	29.7	29.4	28.5	28.3	27.2	26	24.2	23.1	22.7	22.3	21.1	20.9
6-2-06	29.6	29	28.2	27.8	25.9	24.5	23.6	22	21.9	21.7	21.6	21.4
7-2-06	26.9	27	27.1	27.3	25.6	24.4	23	21.7	21.4	20.3	20.2	20.2

### Anexo III Consumos del Chiller con variación del set point

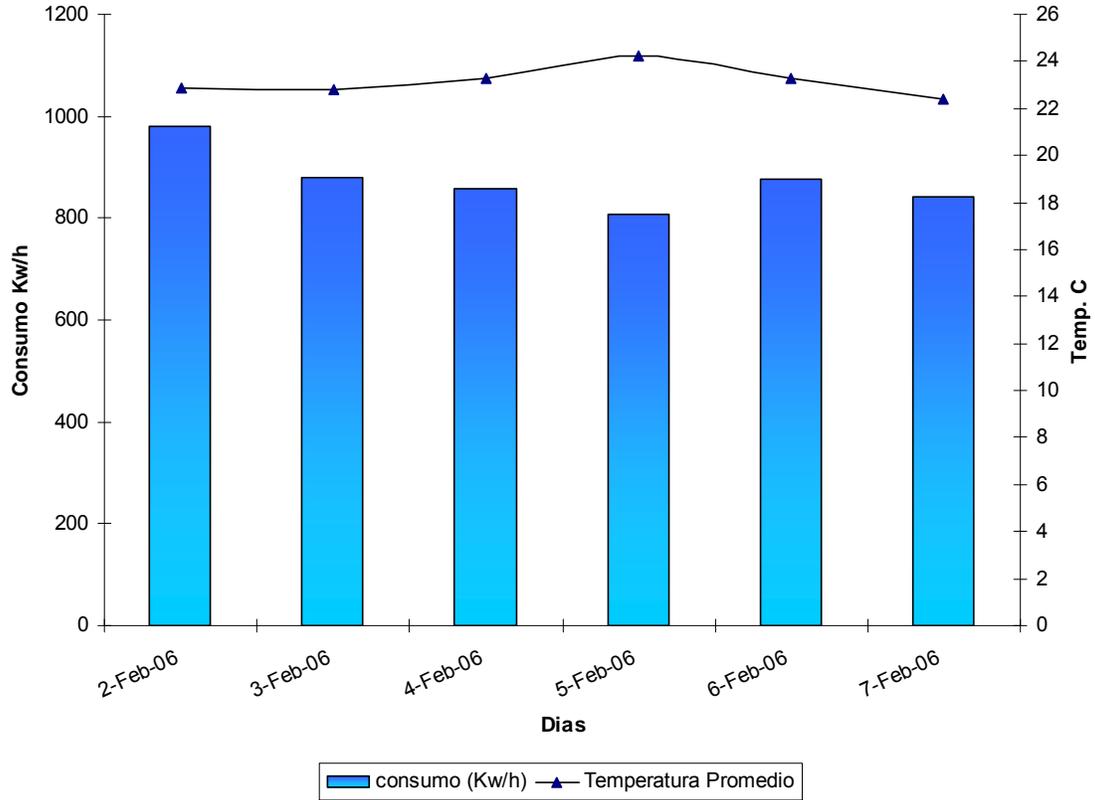
#### Horas de Consumo

Fecha	Temp agua helada °C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2-2-06	11 y 12	42	42.8	39.5	35.5	22.2	32.3	34	31.5	36.2	32.5	19.6	18.3
3-2-06	11 y 12 y 13	31.7	34.5	19.04	25.8	24.3	29.2	23	27.4	33.6	39	21	9.4
4-2-06	12 y 13	23.6	50	37	27.4	30	27	34.2	21.4	34	49.4	20.7	11.8
5-2-06	12 y 13	32.1	36	31	24.2	24	25.2	32	28.1	35.2	28	24	10.3
6-2-06	12 y 13	40	35.5	18	23.6	33	26.4	35.2	29	34.1	37	25.6	16
7-2-06	12 y 13	50.3	42.1	26.5	23	28.6	34	37	24.6	30.3	32.3	21	12

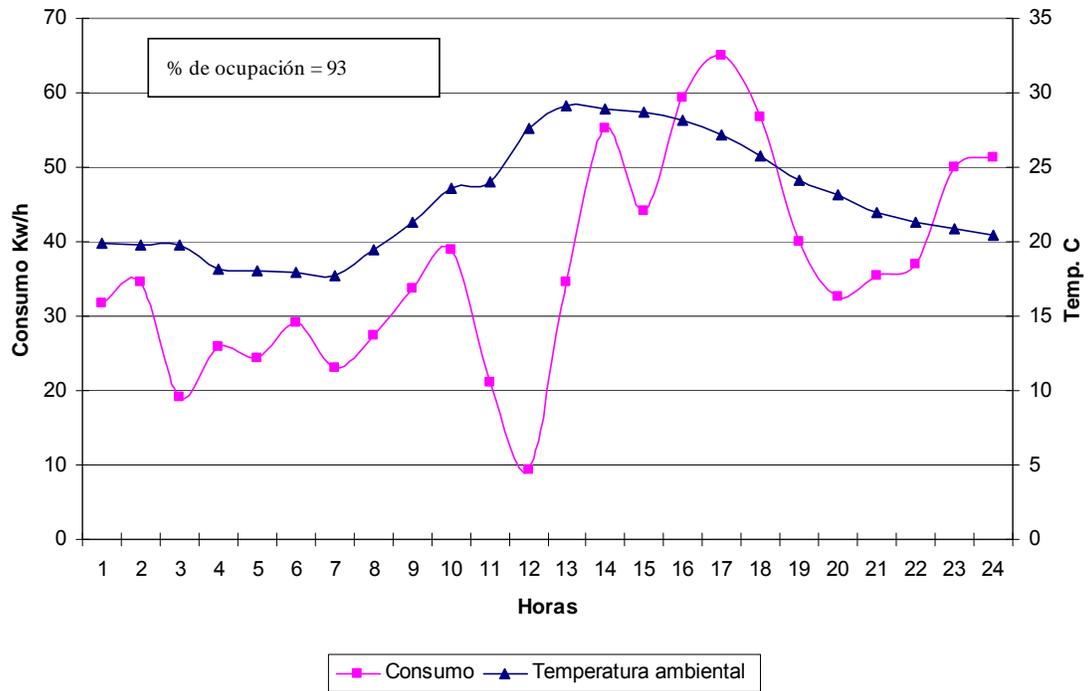
#### Horas de Consumo

Fecha	Temp agua helada °C	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2-2-06	11 y 12	33.2	51.8	63.1	72.1	60	58.4	55.8	43.8	42	34	38.6	41.4
3-2-06	11 y 12 y 13	34.5	55.2	44.1	59.4	65	56.8	39.9	32.7	35.4	37	50	51.3
4-2-06	12 y 13	32.5	38	37.1	48.5	41.1	38	62.3	40.4	34.2	28.9	46	44.6
5-2-06	12 y 13	35	39.1	40.2	50	41	33.1	42	39	29.3	40.3	48.8	41
6-2-06	12 y 13	43.4	46	54	62.2	56.4	49.9	42.64	22.6	31.3	41.4	34.7	39
7-2-06	12 y 13	22.8	43.4	67	56	49.2	42.1	46.9	26.7	26	29.5	44	25.4

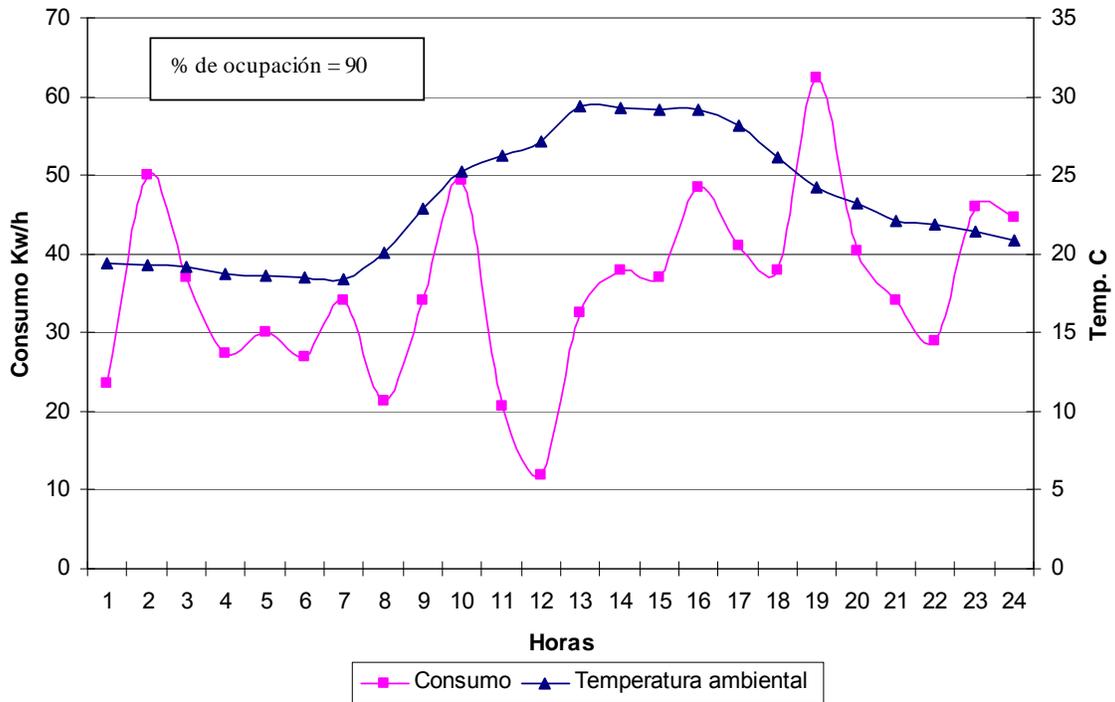
## Anexo IV Influencia de la temperatura ambiental en consumo del chiller



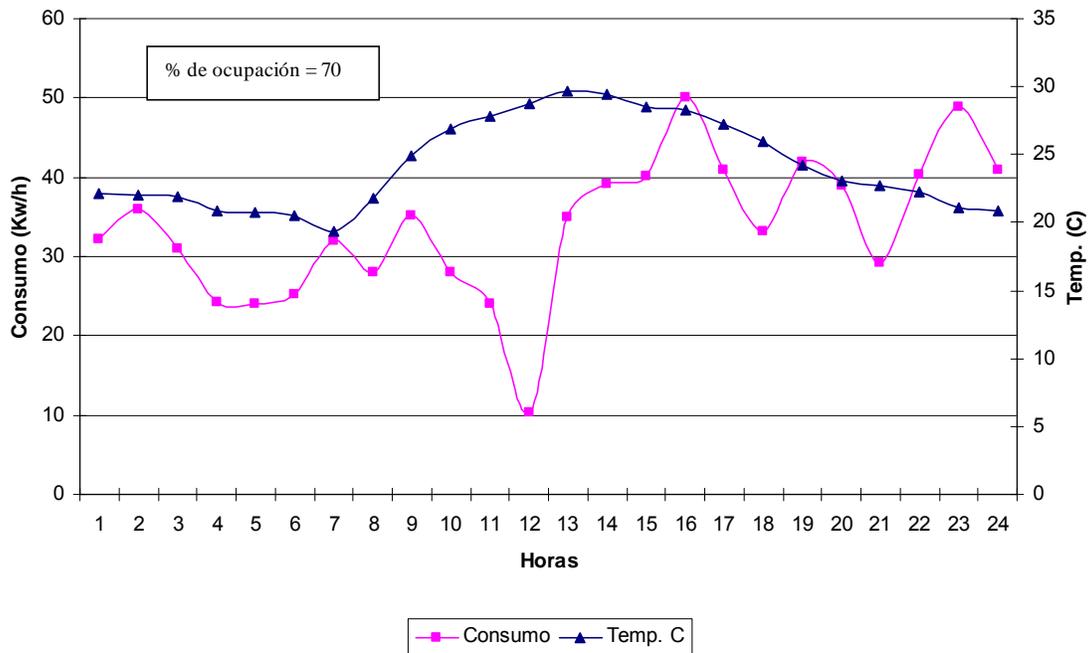
## Anexo V Análisis de consumo y temperatura ambiental para día 3/2/2006



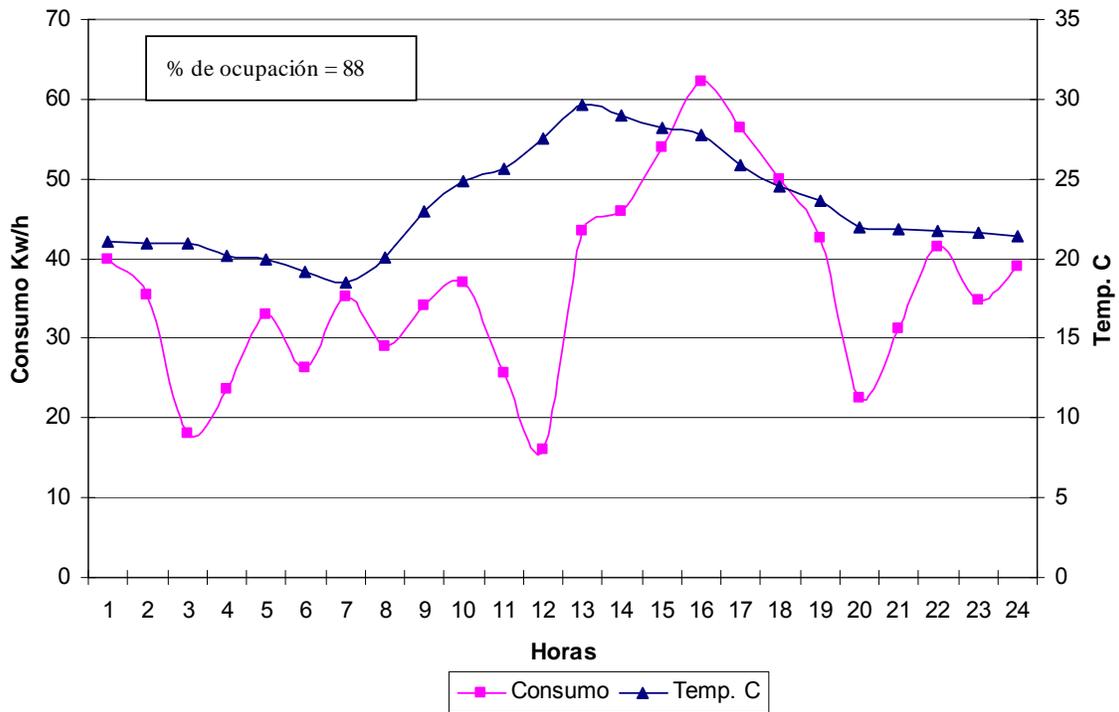
## Anexo VI Análisis de consumo y temperatura ambiental para día 4/2/2006



## Anexo VII Análisis de consumo y temperatura ambiental para día 5/2/2006



## Anexo VIII Análisis de consumo y temperatura ambiental para día 6/2/2006



### Anexo VIII Comportamiento de la temperatura dentro habitación para los días comparados

