



Facultad de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

Título: Análisis de la Influencia de Factores Climatológicos y Alternativas Operacionales en el Consumo Energético de los Sistemas Centralizados de Climatización por Agua Helada.

AUTOR:

Duniesky García Fernández.

TUTORES:

Dra. Margarita Lapidó Rodríguez

Dr. José P. Monteagudo Yanes.

Msc. Sergio Montelíer

**"Año de la Alternativa Bolivariana para las América"
Cienfuegos. Cuba
Curso 2004 - 2005**

DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
"Carlos Rafael Rodríguez"

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor.

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

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

Computación.

Nombre y Apellidos. Firma.

Firma de los tutores

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellidos. Firma.

Pensamiento

La precisión en el objetivo es el punto de partida para cualquier triunfo.

W. Clement Stone.

Agradecimientos

- A mis padres y a mi hermana que me han apoyado durante todo este tiempo que me he estado formando como profesional.
- A mis tutores por haberme ayudado y apoyado para que este trabajo se realizara con la mejor calidad.
- A mis compañeros de aula.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma han tenido que ver con la elaboración de mi trabajo de diploma.

Dedicatoria

- A mis padres por haberme guiado por el camino de la sabiduría y a mi hermana, que me han apoyado durante todo este tiempo que me he estado formando como profesional.

Resumen

En el presente trabajo de diploma se desarrollo un estudio de la influencia de los factores climatológicos y los parámetros de operación en el consumo de los sistemas centralizados de agua helada.

Para la ejecución del mismo se realizó una caracterización de los sistemas centralizados por agua helada ubicados en el municipio de Cienfuegos, donde se efectuaron mediciones experimentales con el fin de vincular factores climatológicos y de operación con el consumo del chiller, con el objetivo de proponer alternativas operacionales que conlleven a la reducción de los consumos.

Al concluir el análisis experimental se pudo observar la clara influencia de las variables climatológicas (temperatura ambiental, velocidad de los vientos, humedad relativa) y las alternativas operacionales (variación de la temperatura de agua helada, trabajo con un solo chiller en función de la carga) sobre el consumo del sistema. Al hacer un análisis de factibilidad de algunas de las estrategias de operación, por concepto de trabajo con un chiller se obtiene un ahorro estimado $1397.71 \frac{kWh}{día}$, mientras la variación del set point reporta un ahorro de $61,8 \frac{kWh}{día}$ que pueden ser revertidos en mejorar los servicios de la cadena y una disminución del impacto ambiental.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1	4
1.1 Fundamentos de los sistemas de acondicionamiento de aire.	4
1.2 Clasificación de algunos de los sistemas acondicionadores de aire.	5
1.3 Funcionamiento de los sistemas centralizados.	7
1.4 Componentes.	10
1.4.1 Compresores.	10
1.4.2 Condensadores.....	13
1.4.3 Evaporadores.....	15
1.4.4 Dispositivos de expansión.....	17
1.4.5 Ventilador-Serpentín (Fan - Coil).	19
1.4.6 Válvulas.	20
1.5 Ventajas de los sistemas centralizados.....	22
1.6 Caracterización de los sistemas centralizados de la provincia de Cienfuegos.	22
1.6.1 Hotel Unión.	22
1.6.2 Hotel Jagua.....	24
Capítulo 2	32
2.1 Características climatológicas locales.....	32
2.2 Elementos climáticos o parámetros medio ambientales.....	34
2.3 Variables climatológicas.....	37
2.4 Factores del clima.....	38
2.5 Horas- Grado.....	39
2.6 Parámetros de operación.....	40
2.6.1 La Carga.....	41
2.7 Razón E.E.R.....	42
2.8 Flujo de agua helada.....	42
2.9 Temperatura de agua helada.....	43
Capítulo 3	47
3.1 Descripción del procedimiento para la evaluación experimental.....	48
3.2 Análisis de las variables climatológicas a evaluar.....	49
3.3 Evaluación experimental en el Hotel Jagua.....	50
3.3.1 Impacto del consumo eléctrico del chiller en el consumo total del Hotel.....	51
3.3.2 Comportamiento diario del consumo eléctrico del chiller.....	52
3.3.3 Caracterización del consumo del chiller en función de la temperatura ambiental y la temperatura de confort.....	53
3.3.4 Influencia de la temperatura ambiental en el consumo eléctrico del chiller.....	55
3.3.5 Influencia de la variación de la temperatura de agua helada en el consumo del chiller.....	57
3.3.6 Comportamiento de la temperatura de confort.....	58
3.3.7 Habitaciones día ocupadas.....	60
3.4 Evaluación económica.....	60
3.4.1 Impacto ambiental.....	65
Conclusiones.....	67
Recomendaciones.....	68
Referecias Bibliográficas.....	69
Bibliografías.....	71

Anexos

Introducción

El turismo se ha convertido en una de las industrias más importantes de la actualidad y sus cualidades son crecientemente valoradas debido a que es una de las actividades económicas con mayor capacidad para promover un desarrollo equilibrado y sostenible en nuestro país.

Las instalaciones turísticas se caracterizan en general por poseer un consumo energético considerable, y en ocasiones, poco racional. Este hecho se ha tratado de explicar fundamentándose en que la principal función del hotel es dar el máximo confort a sus clientes y para ello, se necesita energía. 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.

Aún cuando el costo de energía de un hotel no es la factura más alta para la administración, el incremento de la eficiencia energética probablemente es una de las vías más factibles para aumentar la competitividad y proteger el medio ambiente en un hotel.

Como ya se ha demostrado por varias investigaciones el mayor consumidor de la energía eléctrica en los hoteles es el sistema de acondicionamiento de aire. En la actualidad se tiene como fin lograr que el acondicionamiento de los locales sea a través de los sistemas centralizados, por las ventajas que estos representan con respecto a las unidades de ventanas.

Dentro de las variantes de los sistemas centralizados los más empleados son las enfriadoras de agua (chiller) o sistemas todo agua como también se les conocen. El principio del funcionamiento se basa en bombear agua helada hacia los locales que se desean climatizar, en los cuales a través de unidades terminales (fan – coil) se logra intercambiar calor entre la carga térmica de los locales y el agua fría, una vez hecho el intercambio de energía el agua retorna hacia las unidades enfriadoras la cual será nuevamente enfriada y reenviada hacia los locales a climatizar.

Según diversos autores los chiller operan por debajo del 50% de su carga máxima, además plantean que el 99% de las horas de operación de los chiller estos operan fuera de las condiciones de diseño debido fundamentalmente a sobredimensionamiento o a la influencia de factores climatológicos.

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 se han propuesto realizar investigaciones cuyos resultados tengan como objetivo disminuir los consumos del SCCAH, ya que representan entre un sesenta y un setenta por ciento de los gastos energéticos de la instalación.

Por lo tanto constituye un **Problema científico**: La no existencia de una fundamentación científica de la influencia de los factores climatológicos y los parámetros de operación en los consumos energéticos del chiller limita la aplicación de estrategias de operación en función de disminuir los consumos energéticos y el impacto ambiental teniendo en cuenta la variación de estos factores y parámetros.

Como objeto de estudio, para dar solución al problema científico, se plantea como **Hipótesis**: Se considera que cambios en los factores climatológicos y parámetros de operación repercuten sensiblemente en la disminución de los consumos energéticos y el impacto ambiental de las instalaciones turísticas.

Objetivo General:

Evaluar la influencia de las variables climatológicas y los parámetros de operación en la reducción del consumo energético y el impacto ambiental de los sistemas centralizados por agua helada.

Objetivos Específicos:

1. Recopilar y procesar la información sobre las características constructivas y energéticas de los sistemas centralizados de por agua helada en la provincia de Cienfuegos.
2. Definición de los parámetros operacionales y factores climatológicos y sus niveles de influencia en los la operación de SCCAH.
3. Estudio experimental de los factores y parámetros de mayor incidencia en el funcionamiento de los SCCAH.

Capítulo 1

1.1 Fundamentos de los sistemas de acondicionamiento de aire.

Un sistema de aire acondicionado consiste teóricamente 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 deshumedecer 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 muchos focos o bombillas, que generan mucho calor, requieren un sistema con capacidad refrigeradora 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.

1.2 Clasificación de algunos de los sistemas acondicionadores de aire.

1. Por su misión.
 - A. Para confort.
 - B. Para procesos industriales.
2. Por la estación en que actúan.
 - A. Solo invierno.
 - B. Solo verano.
 - C. Todo el año.
3. Por su instalación.
 - A. Sistemas Centralizados.
 - A-1. Ventilconvectores, tipo fan-coil.
 - A-2. Climatizadores.
 - A-3. Inducción.
 - A-4. Volumen variable.
 - A-5. Mixtos a dos tubos.
 - A-6. Mixtos a cuatro tubos.
 - B. Sistemas unitarios y semi-centralizados.
 - B-1. Unidades de ventana, muro y transportables.
 - B-2. Unidades autónomas de condensación por aire.
 - B-3. Unidades autónomas de condensación por agua.
 - B-4. Unidades tipo consolas de condensación por aire.
 - B-5. Unidades tipo consolas de condensación por agua.
 - B-6. Unidades tipo remotas de condensación por aire split-sustem.
 - B-7. Unidades autónomas de cubierta tipo roof-top, de condensación por aire.

Los sistemas de aire acondicionado, tanto los unitarios como los centralizados, se basan cada vez más en conjuntos totalmente montados y probados en fábricas que incorporan *circuitos de refrigeración* completos, provistos de la totalidad de los elementos y controles necesarios para el manejo, protección y regulación de su funcionamiento.

Estos sistemas de refrigeración se utilizan para enfriar y deshumidificar el aire que queremos tratar o para enfriar el agua que enviaremos a las unidades de manejo de aire que se utilizan en una instalación centralizada, tal y como veremos más adelante.

El diseño y funcionamiento de estos sistemas de refrigeración gira alrededor de un FLUIDO REFRIGERANTE, al cual mediante una serie de dispositivos se le tiene la función de absorber calor en un lugar, transportarlo y ceder ese calor en otro lugar.

En los sistemas centralizados el tratamiento de aire de las distintas zonas, plantas o dependencias se realiza con unidades de manejo de aire que pueden ser ventiloconvectores (fan-coils), climatizadores o inductores, provistos de las baterías de intercambio de calor con aire a tratar que reciben el agua enfriada en una central o planta enfriadora.

- **Unidades de Ventana.**

Son aparatos pequeños para enfriar una habitación de no muy grandes dimensiones, que consisten en una unidad refrigeradora y un ventilador en una estructura compacta que puede montarse en una ventana.

La principal razón por la que se recurre a esta solución, es porque 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. [1]

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

- **Sistema Centralizado.**

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 que 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.

Estos sistemas se dividen en:

- ✓ Todo aire
- ✓ Aire agua
- ✓ Todo agua

El sistema todo agua es uno de los más utilizados en nuestro país para la climatización de grandes hoteles, este sistema es conocido también como sistema de agua helada.

1.3 Funcionamiento de los sistemas centralizados.

La unidad enfriadora de agua opera mediante el ciclo de refrigeración de compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el evaporador se absorbe el calor para nuestro caso; se absorbe calor del agua (refrigerante secundario) y al hacer esto la misma baja su temperatura. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (el refrigerante) se evapora y lo toma el compresor donde se le eleva la presión y la temperatura, para luego rechazar en el condensador el calor absorbido a un medio seleccionado, en nuestro caso agua.

Al rechazar el calor el refrigerante se condensa y pasa al dispositivo de control donde se le baja la presión y la temperatura y está listo para absorber calor nuevamente en el evaporador.

El ciclo simple de refrigeración por compresión del vapor tiene por tanto cuatro componentes:

- Un **evaporador** donde se absorbe el calor a una baja temperatura al evaporarse (hervir) un líquido (refrigerante) a baja presión.
- Un **compresor** que utiliza una energía mecánica para aumentar la presión, por ende la temperatura del vapor.
- Un **condensador** donde se condensa el vapor (gas refrigerante) de alta presión, desprendiendo calor a sus proximidades.
- Un dispositivo **reductor de presión** del líquido refrigerante, por medio de una válvula de expansión, de retorno al evaporador, y que además controla el caudal.

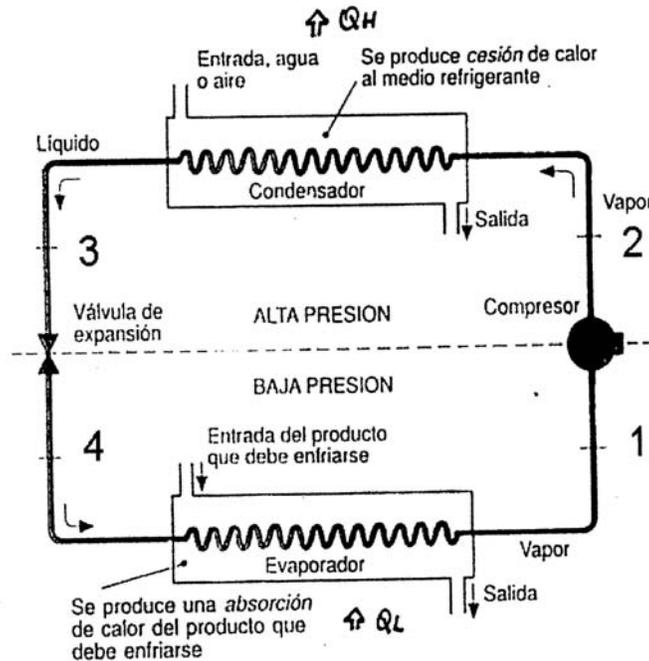


Fig.1.1 - Ciclo operación de un sistema de acondicionamiento de aire.

Existen diversas opciones de unidades centrales o enfriadoras de agua (Chiller), 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 de las bombas de agua de condensación.

Se puede generalizar, con las debidas precauciones comentadas, diciendo que los sistemas enfriados por agua son más eficientes que los sistemas enfriados por aire, debido a que las temperaturas alcanzadas para la condensación del refrigerante, son menores con agua que con aire. Es importante señalar que la energía suministrada al agua procedente del refrigerante puede ser empleada en las habitaciones y locales en general para el uso albañal. A pesar de lo anterior, no hay que olvidar que si analizamos globalmente la situación, en la opción de condensación por agua, habría que involucrar

los costos de agua, del tratamiento de la misma y del consumo eléctrico de las bombas de agua de condensación y de los ventiladores de las torres de enfriamiento.

1.4 Componentes.

Vale señalar que 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. A continuación se exponen algunas características de los componentes de los S.C.A.H. [ídem]

1.4.1 Compresores.

- **Compresores centrífugos.**

Los compresores centrífugos son máquinas de gran capacidad, comprendidas entre 50 y 3000 ton. El mayor uso de este compresor es para enfriar el agua a 7,2°C en sistema de acondicionamiento de aire. Este compresor tiene una ventaja que se opera más simple que los otros.

Los compresores centrífugos prefabricados en chiller vienen de 100 a 3000 ton. (350 a 10500 kW.) de capacidad, y como máquinas sola, viene 8500 ton. (30000 kW.).

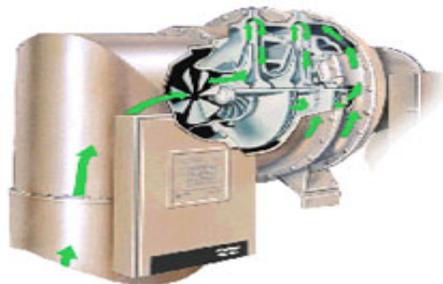


Fig. 1.2 – Compresor Centrífugo

- **Compresores de Tornillo.**

Los compresores de tornillo son equipos de mayor capacidad usando refrigerante de alta presión, operan con grandes volúmenes de refrigerante con menos partes en movimiento y son compresores de desplazamiento positivo, tienen la característica de operar con un poco de refrigerante líquido sin dañar sus partes.

Se fabrican compresores de tornillo en tamaño de 50 a 700 ton (175 a 1750 kW) de capacidad y vienen en dos variantes; semihermético y abierto.

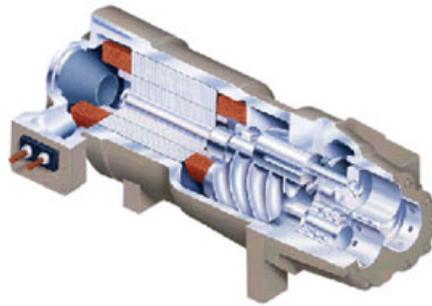


Fig. 1.3 – Compresor de tornillo

- **Compresores Reciprocantes.**

El compresor reciprocante consiste en un émbolo o pistón que se mueve alternativamente en un cilindro que lleva dispuestas válvulas de admisión y escape para permitir que se realice la compresión.

Este compresor tiene la desventaja que no pueden operar con ningún refrigerante líquido en sus cilindros. Se fabrica en tamaños de 100 Ton. (350 kW.) de capacidad. A veces se ponen múltiples compresores para alcanzar la capacidad de una enfriadora de agua de 200 Ton. (700 kW.).

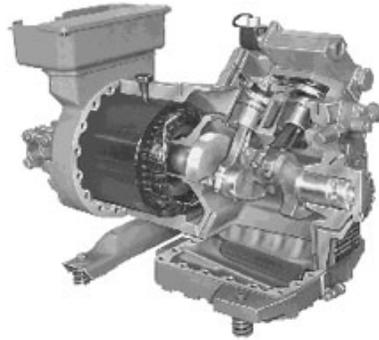


Fig. 1.4 – Compresor Reciprocante

En la tabla que a continuación aparece se muestran los principales tipos de compresores y su consumo promedio en Kilowatt por Tonelada al 100% de su capacidad, de acuerdo al medio de condensación:

Tabla 1.1, 1.2 Caracterización de los diferentes tipos de compresores.

Tipo de Compresor	Medio de Condensación	kW/T.R.	I.P.L.V.
Reciprocante	Aire	1.1	10.5 EER
Rotativo (Scroll)	Aire	1.1	11.5 EER
Tornillo	Aire	1.1	12.2 EER
Reciprocante	Agua	0.9	15.7 EER

Tipo de Compresor	Medio de Condensación	kW/T.R.	kW/T.R. Promedio
Tornillo	Agua	0.65	0.575
Centrífugo	Agua	0.55	0.523
Centrífugo c/Variador	Agua	0.55	0.460

Los datos de kW/T.R. están dados a condiciones ARI (American Refrigeration Institute). El I.P.L.V, es el valor integrado del comportamiento a cargas parciales. Aunque el kW/T.R es una referencia inicial, no debe tomarse como algo absoluto, ya que este valor se toma al 100% de la capacidad del equipo, es decir a las condiciones de diseño, las cuales son las condiciones más críticas. Estas condiciones ocurren solo el 1% del

tiempo total de operación del equipo durante un año. Por lo anterior es que es muy importante conocer el comportamiento del equipo operando a cargas parciales, es decir, a condiciones por debajo del 100% de su capacidad. Por la razón anterior, se muestra un promedio de los kW/Tr a cargas parciales en los casos de las unidades enfriadas por agua.

El I.P.L.V. es una mejor referencia, aunque solo toma cuatro puntos de operación, 100%, 75%, 50% y 25%, pero le da el mismo peso a cada uno de ellos, cuando en realidad los equipos operan mayormente entre el 50 y el 75% de su capacidad. De aquí, que se vuelve tan importante, hacer un análisis específico en cada caso, tomando en cuenta no solamente cuatro puntos, sino todo el perfil de la carga térmica durante un año. Las principales compañías fabricantes de equipo, cuentan con programas de simulación vía computadora para obtener datos mucho más cercanos a la realidad, donde se analizan diferentes opciones de equipo, cargando datos del clima, costos de energía eléctrica, etc.

A diferencia de los datos anteriormente mencionados, que son de equipos nuevos, las eficiencias de sistemas antiguos son menores, y adicionalmente se han deteriorado por el paso del tiempo y algunas veces por la falta de un mantenimiento adecuado. La mayor parte de los equipos enfriadores de agua existentes desde hace 15 años, son reciprocantes o centrífugos. En el caso de una unidad enfriadora tipo reciprocante enfriada por aire con 15 años de operación, su consumo de energía, es de alrededor de 1.7 kW/Tr, y el de un centrífugo enfriado por agua de la misma edad estará alrededor de 0.9 kW/Tr. Lo anterior demuestra que las nuevas tecnologías pueden disminuir considerablemente los recibos de energía eléctrica.

1.4.2 Condensadores

Los intercambiadores de calor (condensador y evaporador) en una enfriadora de agua tienen el segundo gran impacto en la eficiencia y costo de una enfriadora. Uno de las

diferencias distintivas de un intercambiador de calor es el tipo de condensador seleccionado, que puede ser; condensador enfriado por aire o por agua.

En la comparación del tipo de condensador, primero se considera la capacidad de cada tipo. Condensadores de aire está en el rango de 7,5 a 500 Ton (25 a 1580 kW.) y los de agua están en el rango de 10 a 3000 Ton (35 a 10500 kW.).

Los chiller de enfriamiento por agua son típicamente más eficientes que los de enfriamiento por aire. La temperatura de condensación del refrigerante en un chiller de enfriamiento por aire es dependiente en la temperatura ambiente de bulbo seco y la temperatura de condensación en uno de enfriamiento por agua es dependiente en la temperatura de agua en el condensador que depende en la temperatura ambiente de bulbo húmedo. Desde que la temperatura de bulbo húmedo es significativamente más baja que la temperatura de bulbo seco, la temperatura de condensación de un refrigerante (y presión) en un chiller de enfriamiento por agua puede ser más bajo que en uno de enfriamiento por aire. Esto significa que con una menor temperatura de condensación, y por consiguiente una más baja presión, resulta que el compresor necesita hacer menos trabajo y consume menos energía. Esta ventaja puede disminuir a las condiciones de carga parcial porque la temperatura de bulbo seco tiende a dejar caer más rápidamente que la temperatura de bulbo húmedo como se muestra en la figura.

De alguna manera podemos generalizar, con las debidas precauciones comentadas, diciendo que los sistemas enfriados por agua son más eficientes que los sistemas enfriados por aire, debido a que las temperaturas alcanzadas para la condensación del refrigerante, son menores con agua que con aire. A pesar de lo anterior, no hay que olvidar que si analizamos globalmente la situación, en la opción de condensación por agua, habría que involucrar los costos de agua, del tratamiento de la misma y del consumo eléctrico de las bombas, de agua de condensación y de los ventiladores de las torres de enfriamiento.

1.4.3 Evaporadores.

Los evaporadores usados para chiller de alta presión son **evaporadores de expansión directa y evaporadores inundados.**

- **Evaporadores de expansión directa.**

También conocidos como evaporadores secos, ellos tienen establecido este significado por la alta temperatura a la salida del evaporador. Ellos normalmente usan un dispositivo de expansión termostática para medir el refrigerante. Los evaporadores de expansión directa son usados para los antiguos modelos de chiller pequeños de 150 toneladas y para los chiller más modernos de 100 toneladas. Los chiller de expansión directa introducen el refrigerante en un extremo del chiller y el agua es introducida en el costado opuesto del cuerpo del chiller.

El agua está en el exterior de los tubos, y los deflectores hacen que el agua esté en contacto con la mayor cantidad de tubos posibles para un mejor intercambio de calor. El problema con este arreglo es que con el tiempo el agua logra ensuciar el lado del circuito por donde circula, haciendo necesaria la utilización de químicos pues el chiller no puede limpiarse con cepillos. La diferencia entre estos evaporadores y los evaporadores de tubos mojados radica en que, en los chiller de tubos mojados el agua circula por el interior de los tubos mientras que el refrigerante circula por alrededor de los tubos.

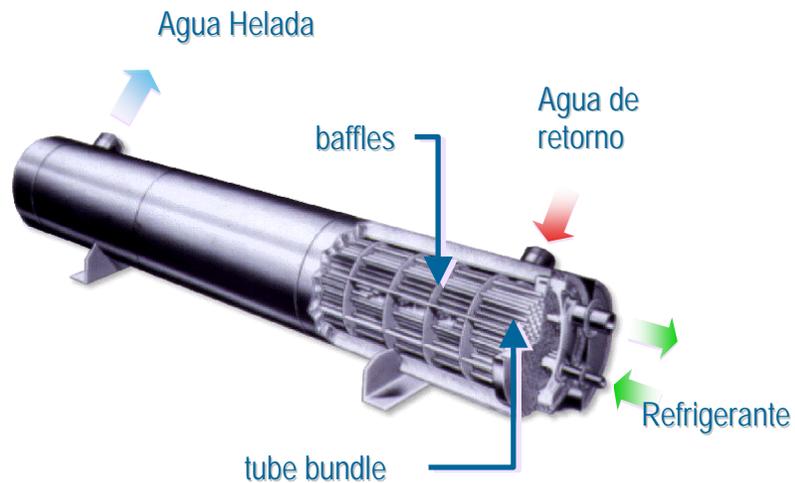


Fig. 1.5 - Evaporador de expansión directa

- **Evaporadores de tubos mojados**

En el evaporador de tubos mojados el refrigerante líquido fresco de baja presión entra en el sistema de distribución dentro de la carcasa y es uniformemente distribuido encima de los tubos, absorbiendo calor del agua que fluye por el interior de los tubos, esta transferencia de calor hace hervir una película de refrigerante que se convierte en vapor para luego regresar al compresor.

El agua que ahora ha cedido su calor puede utilizarse para diferentes aplicaciones.

Un sensor puede supervisar el nivel de refrigerante en este tipo de evaporador y una válvula de expansión electrónica puede usarse para garantizar que el refrigerante líquido fluya cuidadosamente al sistema de distribución del evaporador para garantizar así un nivel apropiado de refrigerante dentro del sistema.

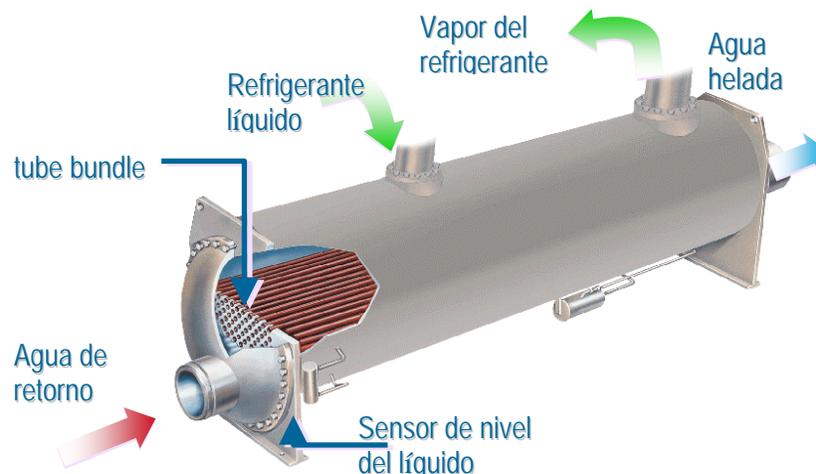


Fig. 1.6 - Evaporador de tubos mojados

1.4.4 Dispositivos de expansión.

Tienen como función fundamental, la expansión del refrigerante con la consiguiente reducción de presión y por lo tanto de temperatura desde la correspondiente presión de condensación hasta la presión y temperatura de evaporación. Divide el lado de alta del sistema del lado de baja. El proceso de estrangulación que ocurre en este elemento se realiza a entalpía constante.

Se utilizan diferentes tipos de dispositivos de expansión en los sistemas de refrigeración, dentro de ellos los más usados son: los tubos capilares en sistemas de cargas constantes, y las válvulas de expansión termostáticas en sistemas de cargas variables.

El refrigerante entra a este dispositivo en estado líquido con condiciones de alta presión y mediana temperatura después de haber cedido calor en el condensador, sale del dispositivo de expansión a baja presión y baja temperatura, como mezcla bifásica, con una proporción aproximada de 75% de líquido y 25 % de vapor según el diseño y condiciones de funcionamiento.

- **Tipos de dispositivos de Expansión.**
 - Válvula de Expansión Manual.
 - Tubo Capilar.
 - Válvula de Expansión Automática.
 - Válvula de Expansión Termostática.
 - Flotante de Lado de Baja.
 - Flotante de Lado de Alta.
 - Válvula de Expansión Termoeléctrica.
 - Válvula de Expansión Electrónica

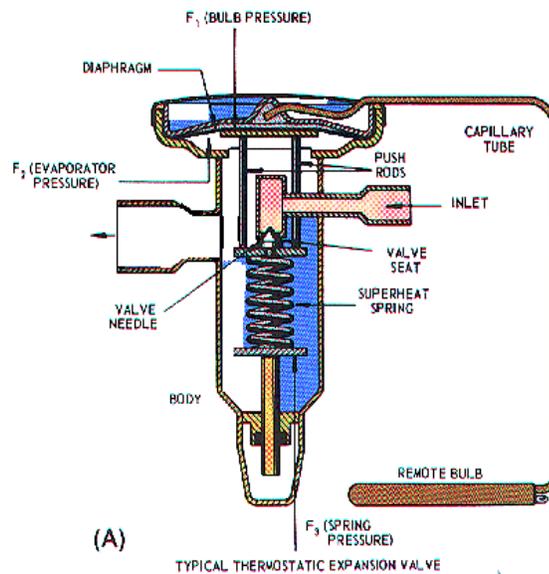
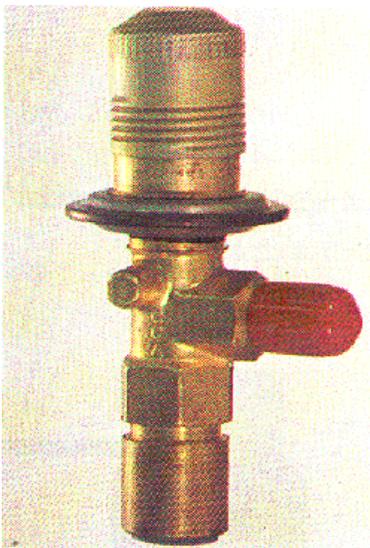


Fig. 1.7 - Válvula de expansión.

1.4.5 Ventilador-Serpentín (Fan - Coil).

El agua enfriada por el chiller llega a los locales a través de un sistema de tubería, alimentando de esta forma a unidades de ventilador serpentín que son los encargados de enfriar y extraer la humedad de los locales.

La unidad terminal esta provista básicamente de un ventilador y un serpentín de intercambio térmico por donde circula agua helada. Esta puede disponer también de filtro de aire y batería de calefacción. Su capacidad puede estar entre 1 a 10 Kw. Y su alcance no más de 6 metros. Esta unidad ventila en proporciones bajas de forma no controlada siempre que se los instale en una pared exterior y se prevea una reja de toma de aire.

- **Configuraciones de Fan - Coil:**
 - Verticales
 - Horizontales
 - Tipo columna
 - Vistos
 - Ocultos

- ✓ **Opciones para controlar las cargas térmicas del Fan – Coil.**

La función principal del control de la carga térmica es modular el flujo de aire o agua a través del serpentín para mantener el confort de las habitaciones. Esto se verifica midiendo la temperatura del aire del suministro o espacio. La temperatura se convierte entonces a un signo electrónico que modula la capacidad del fan coil para regular la variación de la carga en el espacio. Existen tres métodos de control de las terminales de carga más comunes en sistemas de enfriadoras de toda agua, que son:

- Válvulas de tres-vías
- Válvulas de dos-vías
- Diafragma y dampers en las placas

1.4.6 Válvulas.

- **Válvulas de Tres-vías.**

Una válvula de control de tres-vías es un método de regular el flujo de agua enfriada a través de un fan coil. Cuando la carga térmica del espacio disminuye, la válvula reguladora dirige menos agua a través del serpentín, mientras disminuye su capacidad. El agua de exceso desvía el serpentín y se mezcla más abajo en la tubería con el agua que fluye a través del serpentín. Como resultado, la temperatura del agua que vuelve del sistema disminuye como las disminuciones de carga térmicas del espacio.

✓ Los sistemas con válvulas de tres vías tienen las características siguientes:

1. La temperatura del agua que vuelve del sistema varía con la carga térmica.
2. El agua que fluye a través de cada terminal de carga es relativamente constante a todas las cargas.
3. La energía consumida en el bombeo es constante por resultado que el sistema con válvulas de tres-vías tiene flujo de agua constante.

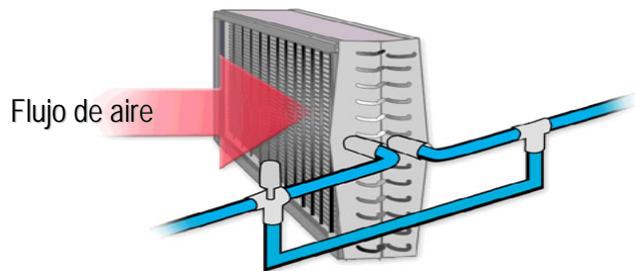


Fig. 1.8 – Ventilador-serpentin con una válvula de tres-vías

- **Válvulas de Dos-vías.**

Una válvula de dos-vías es similar a una válvula de tres-vía en que se modula el flujo de agua a través del serpentín proporcionalmente a la carga. La diferencia primaria es que esta válvula no desvía agua que no se utiliza, ella solo estrangula la cantidad de agua que pasa por el enfriador.

No hay influencia en el circuito de aire con respecto al uso de una válvula de tres-vías, sin embargo, en el sistema de agua se ve una gran diferencia. Con este tipo de válvula, el flujo de agua varía proporcionalmente con la carga. Porque no hay ningún mezclado de agua del serpentín y agua desviada, la temperatura del agua que sale se mantiene relativamente constante para todas las condiciones. De hecho, esta temperatura de agua de retorno realmente puede subir ligeramente con las variaciones de carga, debido a las características de transferencia de calor del serpentín.

- ✓ Sistemas con válvulas de dos vías tienen las características siguientes:
 1. La temperatura del agua que vuelve del sistema es constante (o aumenta) con las disminuciones de la carga térmica. Esto aumenta la efectividad de opciones como la recuperación de calor y el enfriamiento gratuito.
 2. El flujo de agua a través de cada terminal de carga varía proporcionalmente a la carga, reduciendo los consumos de energía del proceso de bombeo.
 3. Un sistema de flujo variable es menos sensible a equilibrio de agua que sistemas de flujo constante.

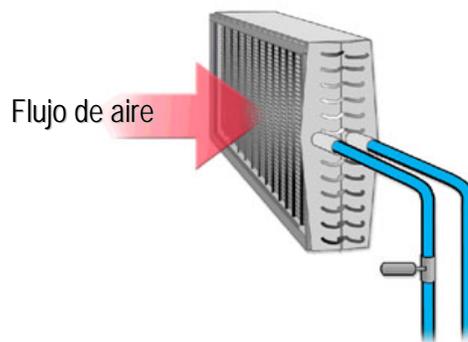


Fig. 1.9 – Ventilador-serpentín con una válvula de dos-vías

1.5 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.
- ☺ 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 esta desocupada, etc.

1.6 Caracterización de los sistemas centralizados de la provincia de Cienfuegos.

1.6.1 Hotel Unión.

El sistema de climatización centralizado del hotel “La Unión” cuenta con dos enfriadora de agua, las cuales presentan dos compresores recíprocos modelo Chas- 702 conectados en paralelo, que trabajan con presiones de 3.8 bar y 16.4 bar de evaporación y condensación respectivamente y utilizan como refrigerante el Freón 22 (R-22). El control de temperatura del agua de retorno de las habitaciones es la variable

de control de los compresores pues en función de esta temperatura estos entran o salen del sistema.

El agua es bombeada a las enfriadoras por medio de bombas centrífugas de 3 KW de potencia que manejan un caudal de 75 m³/h. Existen dos bombas por cada chiller, pero estas alternan su trabajo en función de las horas de bombeo, pues el sistema es de volumen de agua constante y la utilización de dos bombas no permite el desgaste intensivo de estas máquinas de flujo. La entrada y la salida de trabajo de estas bombas se realizan automáticamente.

En el sistema existen dos lazos, lazo primario que es el encargado de bombear el agua a las enfriadoras del que se comento anteriormente y un segundo lazo (secundario) encargado de bombear el agua a los bloques que se desean climatizar, estos dos lazos se utilizan con el objetivo de vencer las perdidas del sistema.

Las unidades de condensación están dispuestas en W y el refrigerante logra su condensación por medio del enfriamiento de aire forzado que impulsan tres ventiladores que posee cada intercambiador de calor.

A la entrada del fan – coil, que es el encargado de enfriar el aire de la habitación, el sistema dispone de válvulas de tres vías que se encargan de hacer pasar el agua helada por el fan – coil en caso que la habitación este ocupada, en caso que este desocupada esta pasa el agua a la línea de retorno que posteriormente volverá en un ciclo cerrado enfriarse y bombeada a los locales a climatizar. Las líneas de agua, las locales y la de retorno trabajan en iguales condiciones de presión y de flujo.

A parte del circuito de agua que se encarga de la climatización, existe un ciclo de calentamiento para el agua sanitaria, este se logra a través de un intercambiador de calor refrigerante – agua, dispuesto a la salida de los compresores. El refrigerante al salir del proceso de compresión sale a una temperatura elevada cediéndole parte de su contenido de calor al agua y posteriormente logra su condensación en los

condensadores. El agua caliente es circulada en un ciclo cerrado por dos tanques de 5m³, en los cuales está presente un intercambiador de calor agua – agua que eleva la temperatura del agua del tanque a 50 °C y posteriormente esta es bombeada a los bloques habitacionales. Este sistema cuenta además con dos resistencias de 5 KW que son las encargadas de llevar el agua a la temperatura deseada, por lo general estas solo se utilizan en invierno, pues en esta época del año las cargas térmicas en las habitaciones son menores y por ende el trabajo de los compresores será mínimo, no lográndose la temperatura requerida del agua en el intercambiador refrigerante – agua y por tanto esa agua no podrá elevar la temperatura del agua almacenada en los tanques a 50 °C. Con este ciclo de calentamiento de agua se logra un súper aprovechamiento de calor y por lo tanto una alta eficiencia del sistema, pues de lo contrario el contenido de calor del refrigerante a la salida del compresor se cedería al medio ambiente y se estaría perdiendo esta energía.

El consumo del sistema de climatización respecto al consumo de energía eléctrica del hotel representa entre un 40 y un 72%.

1.6.2 Hotel Jagua.

El sistema de climatización centralizado del hotel “Jagua” cuenta con dos enfriadoras de agua marca CHAW-T 1402. [2]

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.

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.

A continuación se muestran los datos de chapa de la enfriadora, compresores, evaporador, “fan-coils”, bombas, etc. y demás componentes que trabajan en conjunto con el equipo.

Datos de chapa de los equipos. [2]

Tabla 1.3 Características del sistema centralizado del hotel Jagua.

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

Evaporador				Válvula de expansión						
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 ³				Temp. máx. serv: 100 °C						
Temp. máx. serv: 30 °C				Refrigerante: R-22						
Temp. mín. serv: 5 °C										
Año: 2000										
Fan – coil FBH -6										
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).						
Fan – coil FBH – 4										
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)						
Datos de las bombas (Bombas ITUR)				Datos de los motores						
No de bomba	Q (m ³ /h)	r.p.m	H (m)	Motor	V	Hz	r.p.m	kW	A	cos φ
10, 9, 8	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
7, 6, 5	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
4	10.9	1750	30	3 ~ Cl.F IP55	380 Y	60	1715	3	6.58	0.58

				IP55 M2AA 100 LB-4	220 D	60	1715	3	11.4	0.58
--	--	--	--	--------------------------	-------	----	------	---	------	------

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

Tabla 1.4 Características del funcionamiento para cargas parciales

	1	2	3
Temperaturas (°C)			
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
Compresores (Bar)			
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
Ventiladores (cantidad)	2	2	3

Conclusiones Parciales:

1. Los sistemas centralizados constituyen una opción superior a las unidades de ventana en el sector turístico ya que permiten mantener una temperatura interior adecuada, garantizan el control de la humedad y la calidad del aire, permitiendo una supervisión de los parámetros básicos de funcionamiento del sistema.
2. La bibliografía consultada indica que existe una tendencia en el uso de Compresores de tornillo cuando la capacidad es mayor de 50 tn ya que se obtiene una mayor eficiencia del sistema.
3. Los sistemas centralizados instalados en la provincia de Cienfuegos son sistemas todo agua, con condensador enfriado por aire y recuperación de calor para uso sanitario.

Capítulo 2

2.1 Características climatológicas locales.

Cuando se habla del clima como característica extrínseca del local se hace referencia al estudio desarrollado por Pindado (1998), quien plantea que las características que influyen sobre el intercambio térmico entre una edificación y su contexto pueden ser **extrínsecas e intrínsecas**. Conforme a esta clasificación, las características **medio ambientales**, entre ellas el clima, son entendidas como una serie de parámetros externos a la edificación que influyen directamente en el intercambio energético entre la edificación y su contexto.

Igualmente, hay que destacar que el clima es concebido como parte del medio ambiente, que puede ser analizado como variable independiente si solamente se toman en cuenta los factores climáticos, o bien como un variable dependiente si se consideran los diferentes parámetros ambientes. Pero, para tener una visión más aproximada de la realidad han de tomarse en cuenta tanto los parámetros como los factores climáticos del lugar.

Según este planteamiento sobre el clima, en el diseño y acondicionamiento de aire resulta esencial tener presente los parámetros ambientales. Cada uno de sus valores, junto con las variables del contexto y los parámetros de confort, nos proporcionan los lineamientos y criterios a seguir para establecer un correcto intercambio energético entre el interior y el exterior de la vivienda y, de esta forma lograr bienestar en los ocupantes.

El término clima viene del griego *Klima* y su significado etimológico es inclinación, pues en su inicio hacía referencia a la forma en que inciden los rayos solares sobre la tierra. En la actualidad se define como un conjunto de factores o fenómenos atmosféricos y meteorológicos que caracterizan un región y determinan las condiciones ecológicas propias del lugar [Real Academia Española, 1970]

Para poder evaluar el intercambio de energía entre el edificio y su entorno es indispensable conocer los datos climáticos de la zona en la cual se hallará ubicado, así como los parámetros de forma y volumen que afectarán a la transmisión de la misma.

Una caracterización detallada de la zona de ubicación ayudará a realizar un mejor análisis y cálculo del balance energético de la vivienda.

Diversos autores abordan esta temática desde diferentes contextos señalan que los datos más significativos y característicos de la zona que son necesarios saber son:

Temperaturas: Datos tabulados de temperaturas medias mensuales para el cálculo de las pérdidas y ganancias por transmisión a través de los cerramientos.

Grados-Día: Es una media ponderada de las diferencias de temperatura exterior e interior respecto a una tomada como referencia durante el año y que con los cálculos pertinentes ayudará a la determinación del consumo en calefacción.

Radiación Solar Diaria: Tabla de la Energía total diaria obtenida por radiación solar para diferentes inclinaciones y referidas a cada mes, que ayudarán al cálculo de la energía obtenible mediante uso de tecnologías de aprovechamiento solar.

Distribución radiación solar Horaria-Anual para diferentes orientaciones: Que serán determinantes para el cálculo de las cargas de refrigeración necesaria en los periodos estivales.

Precipitaciones: Necesarias para determinar el ahorro por aprovechamiento de aguas pluviales. Sus unidades son mm/m² o l/m² de superficie.

Todos estos datos sirven para clasificar las ubicaciones en diferentes zonas climáticas agrupadas por similitud en sus condiciones ambientales y que quedan reflejadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.

Cuando se maneja el concepto de clima como característica extrínseca de la edificación se valoran otros elementos climáticos que son de gran importancia, entre los que se encuentran: la radiación solar, la temperatura, la humedad, el viento, las precipitaciones, la radiación de onda larga y la presión atmosférica [Nelia Bedoya, 1997]. Como se observa los parámetros considerados coinciden en más del 90 % de los casos.

Para establecer las condiciones climáticas de un lugar, se observan y promedian los datos de los elementos del clima por periodos entre 10 y 20 años. [3]

2.2 Elementos climáticos o parámetros medio ambientales.

Los elementos del clima son entendidos como las condiciones, variables o propiedades físicas de la atmósfera utilizadas para medir y describir el clima en un momento dado, lo cual quiere decir que afectan el tiempo atmosférico. Estos elementos son de gran importancia para el diseño arquitectónico y pueden ordenarse siguiendo una secuencia aproximada de causa y efecto. Entre ellos, tenemos: *la radiación sola, el viento, la temperatura, la humedad, las precipitaciones, la radiación de honda larga y la presión atmosférica*, aspectos importantes para la selección y el diseño de sistemas de aire acondicionado. [Ídem]

- **Radiación solar.** Este parámetro suele variar constantemente. Su estudio permite determinar la cantidad de energía que llega a una superficie de modo directo, difuso o reflejado, dependiendo de los movimientos relativos del sol y la tierra. El estudio de este parámetro resulta necesario pues 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.

- **Temperatura.** Es probablemente una de los parámetros fundamentales del clima. Aunque básicamente consiste en el estado relativo de calor o frío, la temperatura esta muy condicionada por otros parámetros y factores como la radiación solar, el viento, la composición y naturaleza de las superficies, la situación geográfica, la altura sobre el nivel del mar, el factor de continentalidad, el relieve, la vegetación y la topografía de algunas condiciones meteorológicas. Así mismo, hay que señalar que su factor influye a su vez, en la evaporación, radiación y movimiento del aire a través de sus variaciones diarias y estacionales.

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 a utilizar medidas correctoras en el reacondicionamiento.

- **La humedad.** Es entendida como la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, como resultado de la evaporación de las masas de agua producto del calentamiento generado por la radiación solar y la evapotranspiración animal y vegetal. Este valor varía de acuerdo al tiempo y lugar y, junto con la temperatura, es fundamental para determinar el clima en un sitio. No obstante, no se utilizan frecuentemente como valor absoluto en el diseño ni en las evaluaciones del comportamiento de las edificaciones.

Por otra parte, hay que señalar que este elemento resulta de gran importancia tanto en el diseño como en el planteamiento de medidas correctivas, ya que 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.

- **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.
- **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.

A todos estos parámetros hay que añadir el efecto de una orientación y disposición de las edificaciones adecuadas que favorezcan de la mejor forma posible el máximo aprovechamiento de las condiciones climáticas del lugar de implantación.

Lo deseable, siempre, sería alcanzar la mayor estabilidad térmica posible y en este sentido, por ejemplo, son más adecuadas las edificaciones parcialmente enterradas que no las totalmente expuestas.

En cuanto a la orientación debemos tener muy presente el factor de la radiación solar sobre las diferentes orientaciones posibles para intentar que éstas jueguen a favor del proceso de acondicionamiento térmico de la construcción.

Así, interesaría tener al Norte las estancias que no requieren de un confort excesivo como pasillos, locales de servicio y similares, mientras que hacia el Sur tendríamos las zonas de estancia (salas de estar o comedores) pues aprovechan el sol en invierno y en verano no lo soportan de forma intensa.

En general, en climas cálidos se evitan orientaciones al Oeste pues son calurosas en verano y frías en invierno.

Aunque todas estas condiciones ambientales son importantes, su influencia dependerá de la adaptación de los métodos de construcción con el fin de aprovecharlas o evitarlas.

2.3 Variables climatológicas.

La climatología del lugar de implantación de la construcción juega un papel importante en la determinación de las necesidades energéticas finales en material de calefacción y refrigeración.

La caracterización de las temperaturas de diseño exterior, así como el valor de la radiación solar incidente son decisivos en el cálculo de las cargas necesarias en las instalaciones destinadas a lograr el confort térmico interior.

Para estos cálculos es necesario, como mínimo, el conocimiento de ciertas variables de cada localidad de implantación de un proyecto y que se hayan tabuladas para su conocimiento y aplicación.

Estas variables se han detalladas a continuación y a partir de las mismas pueden obtenerse otras variables que serán necesarias para determinados cálculos:

Temperatura diseño calefacción: Es la temperatura exterior que se considera a efectos de cálculo de transmisión para la determinación de las cargas de calefacción.

Temperatura Bulbo Seco verano [°C BS]: Es la temperatura exterior de bulbo seco correspondiente a los meses de Julio y Agosto a las 15 horas y que corresponde a la máxima temperatura a efectos de transmisión. (Norma UNE 100-001).

Temperatura Bulbo Húmedo verano [°C BH]: Es la temperatura exterior de bulbo húmedo correspondiente a los meses de Julio y Agosto a las 15 horas y que corresponde a la máxima temperatura a efectos de transmisión. (Norma UNE 100-001).

O.M.D. (Oscilación Media Diaria) [°C BS]: Es la diferencia entre la media de las temperaturas máximas y la media de las temperaturas mínimas de los días de verano Junio, Julio, Agosto y Septiembre. (Norma UNE 100-014-84).

O.M.A. (Oscilación Media Anual) [°C BS]: Es la diferencia entre la media de las temperaturas máximas en los meses de verano y la media de las temperaturas mínimas en invierno durante el año. (Norma UNE 100-014-84).

Grados-Día base 15: Es la suma de las diferencias, para cada día, entre una temperatura base definida de 15 °C y la temperatura exterior media diaria, siempre que ésta sea inferior a una temperatura de referencia (normalmente la temperatura base). Se utiliza para estimar el consumo de calefacción.

2.4 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. [Ídem]

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.
- Urbanización o modificaciones del entorno.

2.5 Horas- Grado. [4]

La severidad de un clima puede ser caracterizado a partir de los conceptos de los “días – grado” y las “horas – grados”. Estas últimas quedan determinadas por la ecuación.

$$\text{Horas – Grado} = \sum_{T_o}^n \int_{t=1}^{t=24} T(t) * dT * dt \quad (2.1)$$

Donde:

T. – Temperatura Ambiental.

T o.– Temperatura de referencia. (Confort)

t. – Temperatura Ambiental.

La relación entre la Temperatura y las horas del día se encuentra a partir de la función de Furrier. (2.2) (Ec. 3.10)

$$\theta (t) = < m > + A * \cos\left(\frac{2.\pi.t}{24}\right) + B * \text{sen}\left(\frac{2.\pi.t}{24}\right) \quad (2.2)$$

Donde:

t = 1, 2, 3.....24 (horas)

$\theta(t)$. – Factor adimensional de temperatura.

$$\theta (t) = \frac{T_{\text{máx}} - T(t)}{T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}} \quad (2.3)$$

$$A = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - < m >] \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad (2.4)$$

$$B = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - < m >] \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad (2.5)$$

$$m(t) = \frac{\sum_{n=1}^N T_{av}(t, \text{día})}{N}, t = 1, 2, 3, \dots, 24; \text{día} = 1, 2, \dots, 20 \quad (2.6)$$

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{t=1}^{24} T_{av}(t)}{24} \quad (2.7)$$

Sustituyendo el término $\theta(t)$. en la Ec.2.2 y despejando el término $T(t)$ se tiene la función que debe ser sustituida en la Ec.(2.1).

Para evaluar dicha función en la Ec.2.1 se calculan los coeficientes A y B de las Ec.2.4 y 2.5; y se valida el modelo. De ser válido el modelo se procede al cálculo de las “Horas – Grado.”

NOTA:

- Las Horas – Grado positivas (HG^+) indican la necesidad de aire- acondicionado mientras las negativas solo se consideran para el caso de calefacción.
- Los valores obtenidos para el periodo de prueba se pueden observar en el anexo A – 5, así el grafico de la correlación entre este parámetro y el consumo del chiller se puede ver en el anexo B – 8.

2.6 Parámetros de operación.

Los sistemas centralizados de climatización representan el mayor consumo de energía en las grandes edificaciones es por ello que se han estudiado de forma muy minuciosa el funcionamiento de los chiller.

En 1970 los chiller instalados operaban con una eficiencia de 0,8 y 0,9 e incluso hasta 1kW por tonelada y consumían el 73% de la potencia instalada, la eficiencia de estos equipos se ha incrementado notablemente en los últimos años y ya en el año 2000 se habla de un consumo de potencia de un 58% de la instalada en la planta incrementándose en consumo de bombeo de un 18 a un 26%. [5]

Entre los parámetros de operación que influyen en el rendimiento de chiller se pueden destacar.

1. La carga.
2. La temperatura del agua helada.
3. El flujo de agua helada.
4. La presión del condensador.

2.6.1 La Carga.

Según diversos autores los chiller operan por debajo del 50% de su carga máxima, además plantean que el 99% de las horas de operación de los chiller estos operan fuera de las condiciones de diseño debido fundamentalmente a sobredimensionamiento o a la influencia de factores climatológicos. [6]

La carga es un parámetro que tiene una influencia decisiva en la eficiencia del chiller y repercute en los consumos del sistema centralizado.

Esta regularidad del trabajo de los chiller a carga parciales tiene un significativo impacto en los consumo energéticos lo cual a provocado la investigación de diferentes estrategias de operación que conduzcan a una operación eficiente y por tanto a la reducción de los consumo.

Con respecto a este aspecto se valora la estrategia de utilizar chiller múltiples de diferentes capacidades debido a que los requerimientos de carga con el uso de chiller múltiples es difícil de lograr ya que requiere de un adecuado sistema de control y supervisión que actúe ante las frecuentes variaciones de la demanda de frío.

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

En un estudio desarrollado por la CARRIER se expone el uso de tres chiller, 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 para esta situación 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, actuando el chiller de menor capacidad como un equipo de arranque y reserva.

2.7 Razón E.E.R.

Para evaluar la eficiencia energética del chiller a cargas parciales se prefiere hacer uso de la siguiente razón (E.E.R). [2]

Esta razón mide el funcionamiento de los chillers de baja capacidad, y está calculado por la división entre la capacidad de enfriamiento y la potencia entregada. Mientras mayor sea el valor de esta relación, mejor será la eficiencia de la unidad.

$$E.E.R = \frac{Q_E}{Pot}$$

Donde:

Q_E = cantidad de frío, (*tons*)

Pot = potencia entregada, (*tons*)

2.8 Flujo de agua helada.

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. [5, 6, 7, 8, 9]

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 por el sistema. Los ahorros de energía reportados pueden llegar hasta un 30% con respecto al consumo de un sistema de flujo constante.

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

El estudio fue realizado con un chiller de 440T enfriado por aire.

Tabla 2.1 Comparación del consumo para flujos constantes y variables.

Opción	Consumo de la bomba (kWh)	Consumo del chiller (kWh)	Consumo de sistema
Serie flujo constante	26,658	325,480	392,501
Serie flujo variable	16,108	325,480	381,951

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.

2.9 Temperatura de agua helada.

La temperatura del agua helada decide la extracción de la carga térmica en los locales y a su vez influye de forma decisiva en el consumo energético del chiller.

El ajuste de la temperatura del agua helada se realiza en la entrada o salida del evaporador y constituye una práctica común para reducir los consumos de energía en chiller.

En los sistemas de flujo constante se puede lograr el ajuste muy fácilmente regulando la temperatura de retorno con el ahorro respectivo. En los sistemas con flujo variable elevar la temperatura de suministro del agua incrementa los costos de bombeo y el COP se incrementa en el rango de 2 hasta 6. [7]

El uso de esta estrategia requiere un especial cuidado a que un excesivo aumento en la temperatura de suministro del agua provoca el aumento de la temperatura del aire a través del 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 en sistemas de más de 25 ton, esto excluye sistemas de flujo variable por lo anteriormente expuesto y sistemas en los cuales esté comprometido el confort.

La temperatura de entrada del agua a los chiller 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 °F de disminución en la temperatura de condensación la eficiencia del chiller aumenta un 2 % aproximadamente. 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 2.1).

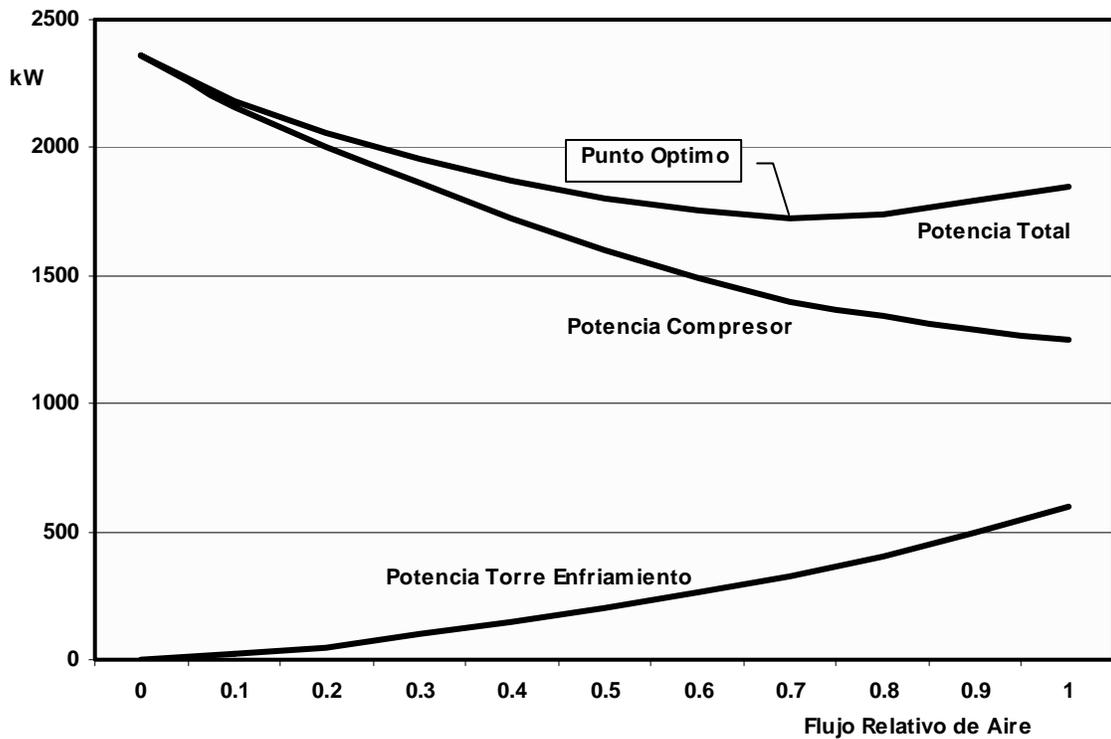


Fig. 2.1 – Influencia del Flujo de Aire en la Torre de Enfriamiento sobre el Consumo de Potencia en los Chillers

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 El ajuste del set point en chiller presenta la ventaja de reducir los costos de energía en el chiller pero tiene las desventajas de incrementar la energía de bombeo en sistemas de flujo variable, comprometer las condiciones de humedad en el espacio climatizado y complicar la secuencia de operación de los chiller.
- 2 La presión en el condensador influye en el consumo energético del chiller y su regulación depende del sistema de enfriamiento que se utilice (aire o agua).
- 3 Los parámetros de operación tienen una influencia significativa en el consumo del chiller y su control contribuye a la reducción del consumo energético en las instalaciones turísticas.

Capítulo 3

El mayor consumidor de energía eléctrica en los hoteles es el sistema centralizado de climatización, es por ello que se hace necesario el estudio del comportamiento de los consumos energéticos que estos presentan.

Como se corrobora en la revisión bibliográfica el consumo de los chiller depende de una diversidad de factores en la instalación turística, es por ello que se requiere realizar una investigación para poder evaluar las alternativas de operación donde se logren los menores consumos eléctricos.

En el capítulo 2 de este trabajo se efectúa un análisis de los factores climatológicos que afectan el confort en una instalación de esta valoración se concluye que de los factores climatológicos la temperatura juega un papel predominante.

Se valora también la influencia de los parámetros de operación en los consumos energéticos y se ha demostrado que el control de estos es una vía utilizada para incrementar la eficiencia de los chiller.

En investigaciones anteriores [1,2] se ha realizado el análisis de los factores que pueden influir en la cantidad de electricidad consumida por los chiller, como son la cantidad de habitaciones días ocupados, la temperatura ambiental, la temperatura de agua helada, así como otros factores climatológicos que pudieran repercutir en el consumo.

Es por eso que en el presente trabajo se han realizado estudios experimentales de los factores climatológicos y los parámetros de operación.

La variabilidad del clima y el hecho de incluir en su estudio parámetros no controlados nos ha llevado a efectuar un análisis preliminar partiendo de los datos registrados por el departamento de meteorología de Cienfuegos con el objetivo de comprobar la dependencia del consumo eléctrico del chiller en función de las variables climatológicas.

Las pruebas fueron realizadas desde el 16 al 21 de noviembre del año 2004 luego desde el 25 de enero al 1^{ro} de febrero y desde el 4 al 8 de abril del 2005, cabe señalar que para los días comprendidos entre el 4 y el 8 de abril se estaba trabajando con las dos unidades enfriadoras mientras que para el resto de los días solo estaba en funcionamiento una unidad, es decir el chiller N° 2, pues en estos días no fue preciso poner en funcionamiento los dos equipos.

En estos periodos analizados se logra valorar diferentes estaciones del año y etapas de alta y baja del hotel.

3.1 Descripción del procedimiento para la evaluación experimental.

- ✓ Obtención de la información necesaria.
 - 1. Datos climatológicos:
 - Velocidad promedio de los vientos.
 - Temperatura promedio diaria.
 - Humedad relativa promedio.
 - 2. Mediciones realizadas en el hotel.
 - Consumo del chiller.
 - Temperatura de confort.
 - Temperatura ambiental.
 - Temperatura de agua helada.
 - 3. Período de medición.
 - 16 al 21 de noviembre.
 - 25 de enero al 1^{ro} de febrero.
 - 4 al 8 de abril.

- ✓ Procesamiento de los datos.

Una vez organizados todos los datos recogidos, y relacionando estos entre sí con la ayuda del software Microsoft Excel se construyen a los gráficos que se muestran en el presente capítulo.

- ✓ Metodología seguida.

1. Con las variables climatológicas de velocidad del viento, humedad relativa y temperatura ambiental promedio se correlacionan cada una con el consumo del chiller.
2. Análisis de la influencia de las variables en el consumo.
3. Determinación de los parámetros de operación y variables que se deben tener en cuenta con el fin de tomar medidas que provoquen una disminución en los consumos.
4. Pruebas experimentales de las variables y parámetros seleccionados.

3.2 Análisis de las variables climatológicas a evaluar.

A partir de los datos de velocidad del viento, temperatura ambiental y humedad relativa medidas por el instituto de meteorología para el periodo de prueba se construyen los gráficos de correlación de cada uno de estos parámetros con el consumo del chiller (véase *anexo*).

- ✓ **Rangos de valores analizados.**

Velocidad media del viento: 1 – 12 m/s

Humedad media relativa: 89 – 73 %

Temperatura ambiental: 14,7 – 32,4 Celsius

De los gráficos se observa que existe una tendencia de la velocidad con el consumo lo que demuestra la necesidad de considerar este factor en el estudio de la instalación, (tal como plantean otros autores), en el caso de la humedad relativa la tendencia es muy baja.

El resultado del gráfico de la correlación entre la temperatura ambiental y el consumo del chiller corrobora los planteamientos de la bibliografía consultada donde se considera la temperatura ambiental como el factor de mayor influencia en los consumos energéticos de las edificaciones climatizadas.

- ✓ Análisis de los parámetros de operación.

En lo que respecta a los parámetros de operación analizados en todos los casos requieren cambios en las estrategias operacionales y en algunos casos implican cambios físicos de la instalación como pudiera ser instalar sistemas de velocidad variable, es por esto que para iniciar este estudio se hace uso de la variación del set point que, según expertos del tema plantean que la actuación de subir este parámetro siempre provoca reducción en los consumos.

3.3 Evaluación experimental en el Hotel Jagua.

Las mediciones realizadas en el Hotel Jagua en el periodo de prueba fueron:

Tabla 3.1 Equipos de medición.

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%
Temperatura de confort	1h	Registrador de temperatura	0,25 °C
Temperatura ambiente	1h	Termómetro digital	0,1 °C

Los valores de estas mediciones aparecen tabulados en los anexos.

3.3.1 Impacto del consumo eléctrico del chiller en el consumo total del Hotel.

Los chiller son los equipos que presentan un mayor consumo eléctrico en la instalación, por lo tanto para analizar que cantidad de electricidad consume el chiller del total de energía eléctrica utilizada por el hotel en los días estudiados se construye la siguiente grafica .

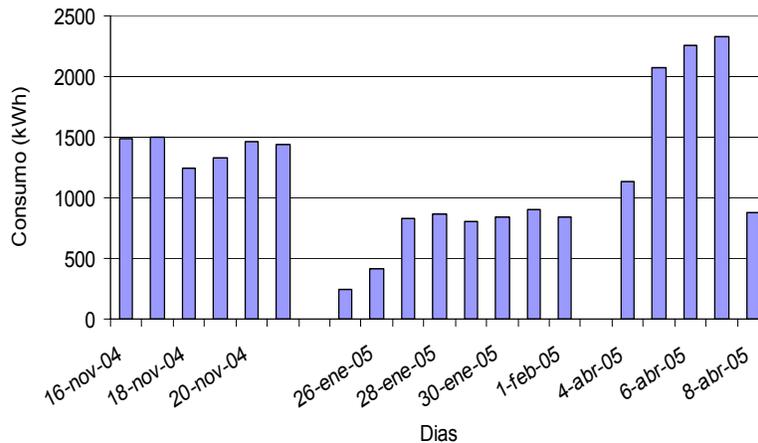


Gráfico 3.1 Consumo diario del Chiller.

Del gráfico anterior se observa que los consumos diarios fluctúan entre 803,70 kWh y 2328,13 kWh en función de diferentes factores como son; la temperatura ambiental, la HDO, la temperatura de agua helada.

Porcentaje que representa el consumo del chiller respecto al consumo del hotel

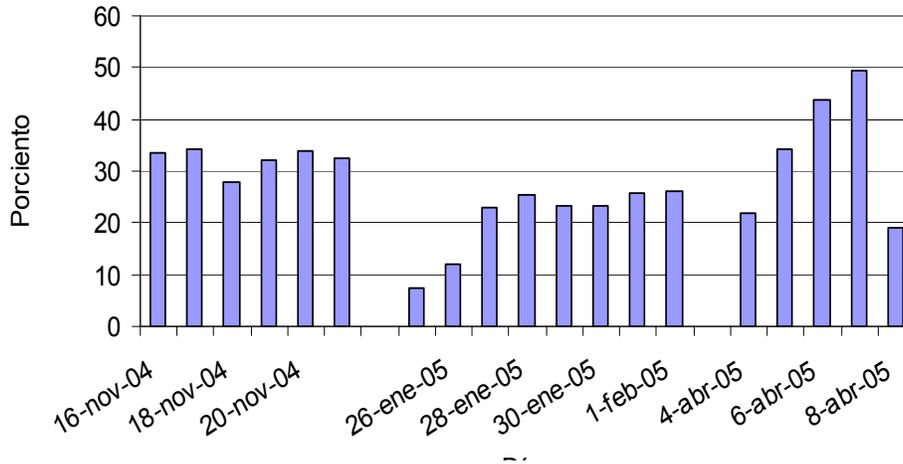


Gráfico 3.2 Relación del consumo del Chiller respecto al consumo del hotel.

La figura muestra que para los días analizados, el consumo eléctrico del chiller representa entre un 7,3 y un 26,01% del consumo total de energía eléctrica en la instalación. Además, los compresores trabajan la mayor parte del tiempo al por debajo de su capacidad. De ello se deduce que cuando ambos equipos están en funcionamiento y a máxima capacidad, lo cual ocurriría en el verano, este por ciento de energía podría llegar a representar más del 50% del total usado en la instalación.

3.3.2 Comportamiento diario del consumo eléctrico del chiller.

A continuación se muestra el comportamiento de consumo típico que presentan las enfriadoras para las tres etapas de medición.

Para analizar el consumo diario del chiller se construyen los gráficos de Consumo vs. Horas del día (véase *anexo B – 1*). Un grafico de comportamiento típico se muestra a continuación.

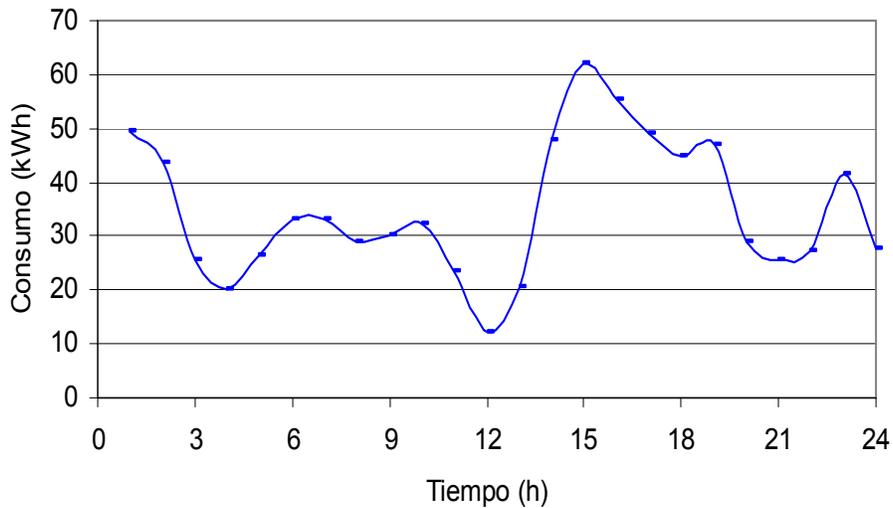


Gráfico 3.3 Comportamiento típico del consumo del Chiller.

Como se puede observar en el gráfico se aprecian picos de consumo alrededor de las cuatro de la tarde debido a la entrada masiva de los turistas y, al tipo de turismo que predomina en esta instalación, los valores mínimos se encuentran entre las 11:00 AM y la 1:00 PM.

3.3.3 Caracterización del consumo del chiller en función de la temperatura ambiental y la temperatura de confort.

En el sistema de enfriamiento de agua la temperatura ambiente ejerce una influencia notable debido a que a medida de que esta se aleja de la requerida para el confort (24°C) mayor será la cantidad de trabajo consumido en el compresor del equipo para lograr disminuir la temperatura del agua de retorno que ha tenido una ganancia de calor en su recorrido por las diferentes áreas del hotel que se encuentran en funcionamiento hasta la temperatura fijada en el “set-point” que garantice las condiciones óptimas de climatización requeridas por los turistas.

Para mostrar la variación de los consumos eléctricos en función de los cambios de temperatura ambiente y controlando la temperatura en el interior de la habitación se construyen los gráficos como es que se muestra a continuación. (véase *anexo B – 5*)

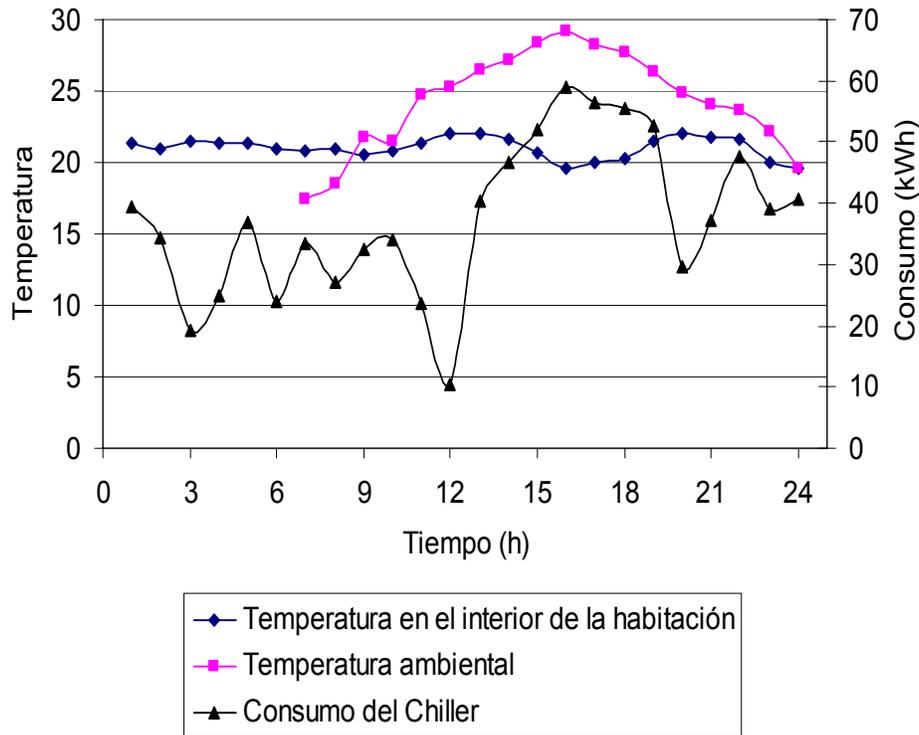


Gráfico 3.4 Relación entre la temperatura ambiental, la temperatura en el interior de la habitación y el consumo del Chiller.

El gráfico anterior muestra el comportamiento de un día de prueba, se aprecia la influencia que tiene la temperatura ambiente en los consumos del chiller tal y como ha sido demostrado en los trabajos anteriores, hay que señalar que a pesar de que los cambios de temperatura en la época de prueba no fueron sensibles y las variaciones a lo largo del día no fueron significativas se notan cambios en los consumos con la variación de esta; además la temperatura máxima en el interior de la habitación se presenta entre las 12 y las 13 en el 89% de los casos para la muestra tomada, mientras que las mínimas en el 50% de los casos se encuentran entre las 24 y las 1 horas.

3.3.4 Influencia de la temperatura ambiental en el consumo eléctrico del chiller.

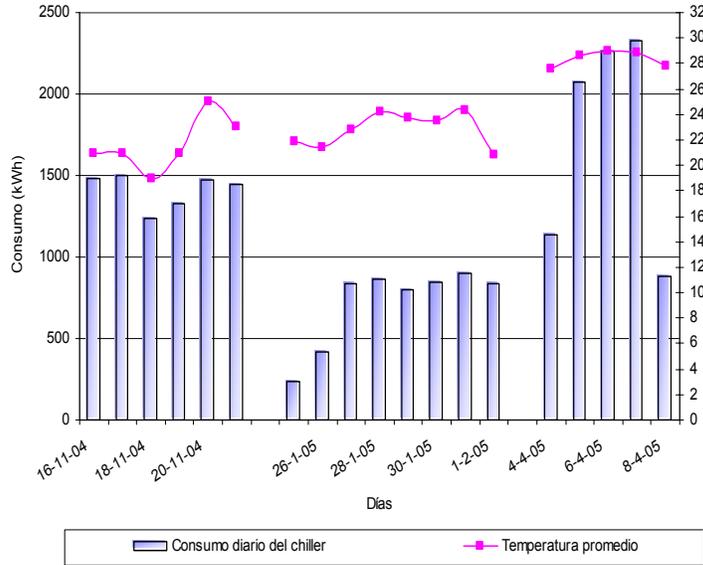


Gráfico 3.5 Influencia de la Temperatura ambiental en el consumo del Chiller.

Se observa que en los días analizados la temperatura ambiental tiene una tendencia significativa en los consumos.

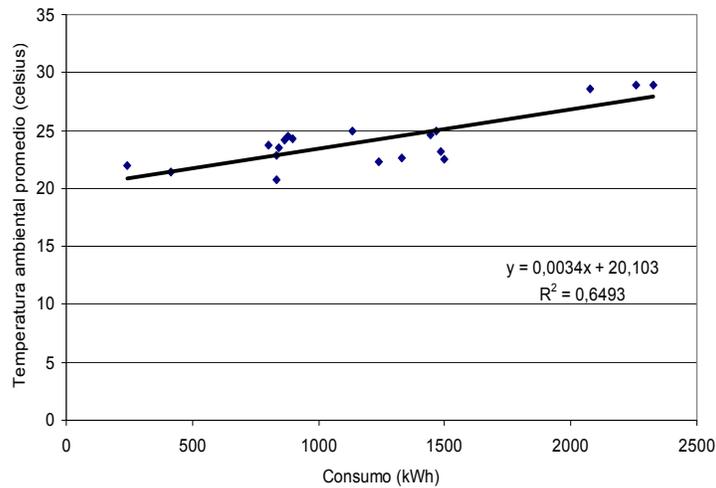


Gráfico 3.6 Correlación entre la Temperatura ambiental promedio y el consumo del Chiller

El gráfico anterior corrobora que existe una correlación entre el consumo y la temperatura ambiental tal y como se ha planteado en los capítulos anteriores. Los resultados indican la necesidad de ampliar el periodo de mediciones de forma tal que permita obtener el comportamiento de esta variable con una precisión mayor, con lo cual se podría realizar un estimado de los consumos en función de los cambios de temperatura y de otros factores que pudieran ser incluidos

3.3.5 Influencia de la variación de la temperatura de agua helada en el consumo del chiller.

En el gráfico que a continuación se muestra, se puede observar el comportamiento del consumo del chiller con las variaciones de la temperatura de agua helada.

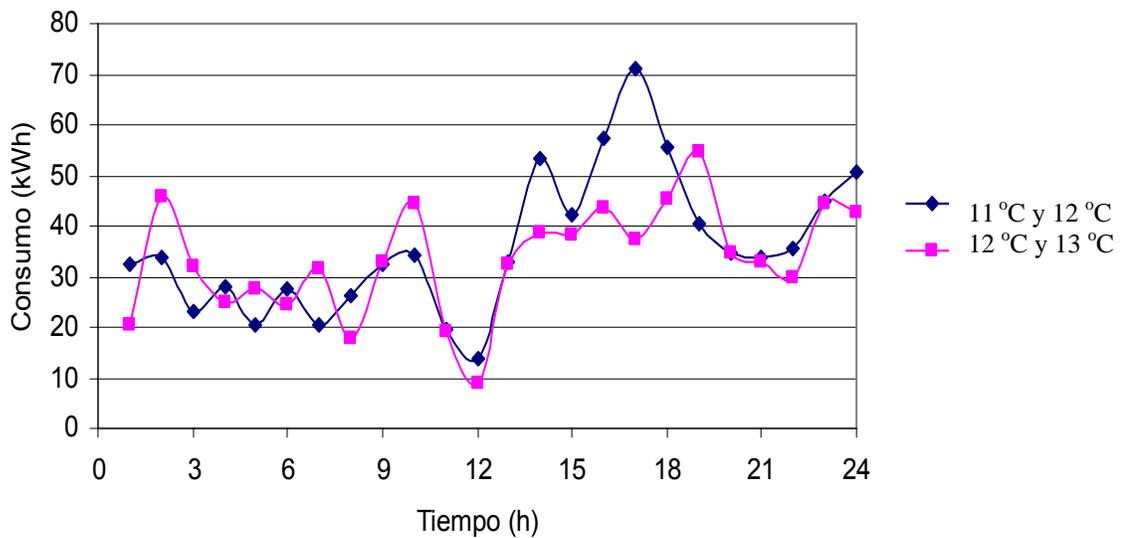


Gráfico 3.7 Relación entre los consumos para los días 28 y 29 de enero de 2005

El hecho de incrementar la temperatura de salida del agua helada provoca una disminución del consumo del chiller y se mantienen las condiciones de confort como se muestra en los gráficos diarios que aparecen en los anexos.

3.3.6 Comportamiento de la temperatura de confort

La temperatura de confort varia sensiblemente durante el periodo de prueba, el hecho de trabajar por debajo de esta temperatura implica un incremento en el consumo del chiller. Es por eso que se propone buscar una estrategia que permita mantener la temperatura de confort en los rangos económicamente recomendados.

En los gráficos del anexo se observa el comportamiento de estas temperaturas que en los meses de enero y abril oscilaron entre 17 y 27,5 Celsius.

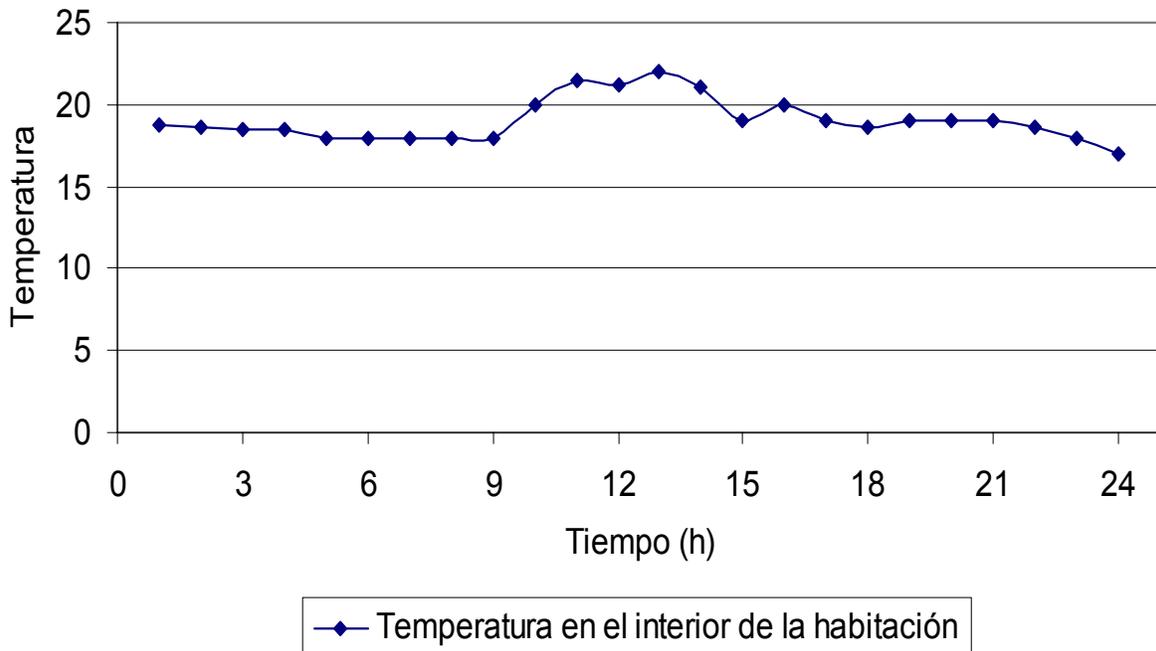


Gráfico 3.8 Comportamiento de la temperatura de confort durante el día.

Como se puede ver durante todo el día la temperatura de confort permanece por debajo de los 24 °C y solo de las 10 – 13 h esta por encima de los 20 °C, esto nos indica que es posible evaluar una estrategia que permita controlar que esta temperatura se encuentre en los rangos económicamente recomendados.

3.3.6 Habitaciones día ocupadas.

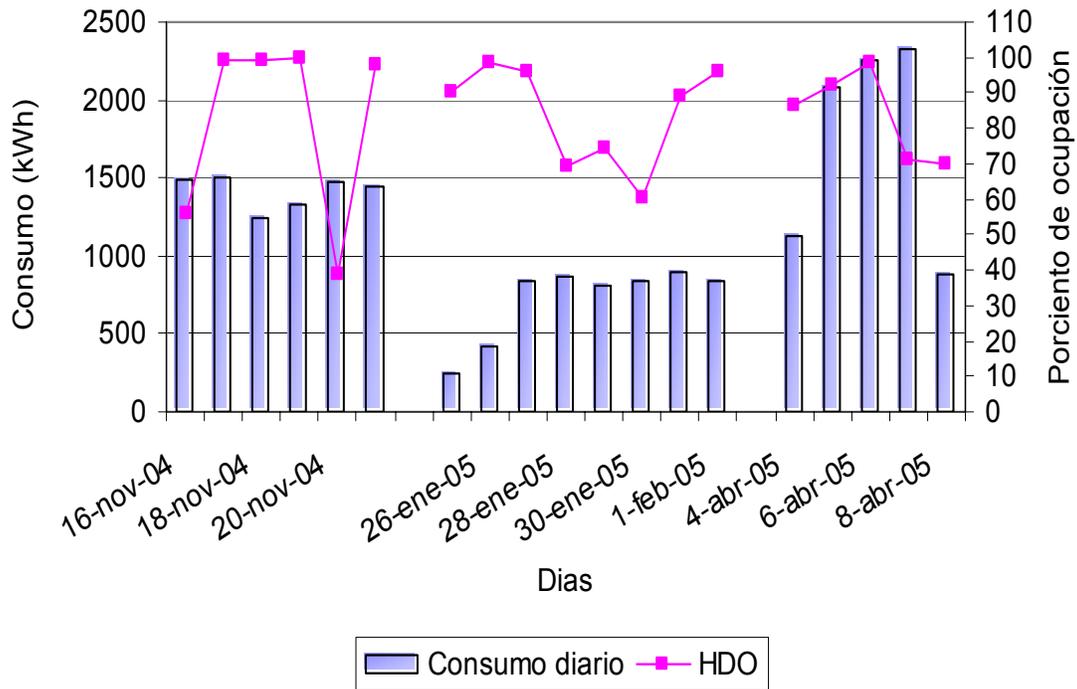


Gráfico 3.9 Influencia de la ocupación en el consumo del Chiller.

Se observa que aunque la ocupación del hotel ejerce una influencia en los consumos eléctricos del equipo no siempre estos están en función de la cantidad de habitaciones ocupadas. Esto se ve reflejado en los días 20 de noviembre, 30 de enero y 7 de abril, donde el por ciento de ocupación disminuye mientras el consumo de energía se mantiene alto.

3.3 Evaluación económica.

Como resultado de los experimentos realizados se comprueba que efectuando cambios en las estrategias de operación del hotel, sin afectar la calidad del servicio prestado al usuario, se logran reducciones en los consumos eléctricos

A continuación se efectúa una evaluación económica preliminar de dos cambios de estrategias considerados en este trabajo.

1. Trabajar con un solo chiller.

En los periodos de prueba en los meses de noviembre y enero el Hotel se encontraba trabajando con un solo chiller, esto repercute en el consumo eléctrico, a continuación se muestra un estimado del ahorro que representa trabajar con esta estrategia. [2]

Se estima la cantidad de electricidad y ahorro económico por concepto de energía dejada de consumir en el “chiller” N° 1.

Los datos se estiman en función de los consumos registrados en el “chiller” N° 2.

Para el chiller N° 1 el ahorro diario en electricidad:

$n_1 = 643.71$ kWh (consumo en el horario del día)

$n_2 = 234$ kWh (consumo en el horario pico)

$n_3 = 520$ kWh (consumo en el horario madrugada)

$$N_t = \sum_{n_i=1}^3 n_i \text{ (total de la electricidad ahorrada)}$$

$$N_t = 643.71 + 234 + 520 = 1397.71 \frac{kWh}{día} ; \text{ por concepto de trabajar con un solo}$$

chiller.

$$P = N_t \cdot S \text{ (Ahorro económico)}$$

Para una tarifa promedio diaria de $S = 0,0945 \frac{USD}{kWh}$

$$\text{Entonces: } P = 1397.71 \frac{kWh}{día} \cdot 0.0945 \frac{USD}{kWh} = 132.13 \frac{USD}{día}$$

Ahorro mensual [2]

Estableciendo que en cada mes de invierno la enfriadora trabaje solo un promedio de 10 días de los 30 correspondientes a cada mes, se estima el ahorro mensual en:

$$A_m = 1397.71 \frac{kWh}{día} \times 20 \frac{día}{mes} = 27954.2 \frac{kWh}{mes}$$

$$\text{Ahorro económico} = 2642.65 \frac{USD}{mes}$$

Período completo de invierno [2]

$$P_{\text{periodoinvierno}} = A_m \cdot T$$

$$P_{\text{periodoinvierno}} = 27954.2 \frac{kWh}{mes} \cdot 2.66 \frac{mes}{\text{periodoinvierno}} = 72680.92 \frac{kWh}{\text{periodoinvierno}}$$

$$\text{El ahorro económico entonces sería de } 6870.88 \frac{USD}{\text{períodoinvierno}}$$

Sistema de bombeo primario [2]

La bomba que suministra el agua a enfriar al “chiller” N⁰ 1 es apagada cuando se apaga la enfriadora. Se tiene en cuenta que la potencia nominal de la bomba es de 10 kW.

Ahorro diario de electricidad

$n_1 = 120$ kWh (consumo en el horario del día)

$n_2 = 40$ kWh (consumo en el horario pico)

$n_3 = 80$ kWh (consumo en el horario madrugada)

$$N_b = \sum_{n_i=1}^3 n_i \text{ (total de la electricidad ahorrada)}$$

$$N_b = 120 + 40 + 80 = 240 \frac{kWh}{día}$$

Lo que equivaldría entonces a un ahorro económico de $23 \frac{USD}{día}$

Ahorro mensual [2]

Estableciendo que en cada mes de invierno la enfriadora trabaje solo un promedio de 10 días de los 30 correspondientes a cada mes, se estima el ahorro mensual en:

$$N_c = 240 \frac{kWh}{día} \times 20 \frac{día}{mes} = 4800 \frac{kWh}{mes}$$

para un ahorro económico de $460 \frac{USD}{mes}$

Período completo de invierno

$$P_{completo} = N_c \cdot T = 4800 \frac{kWh}{mes} \cdot 2.66 \frac{mes}{periodoinvierno} = 12480 \frac{kWh}{periodoinvierno}$$

para un ahorro económico de $1196 \frac{USD}{períodoinvierno}$

Ahorro total sistema de climatización

Ahorro total electricidad = Ahorro “chiller” + Ahorro equipo de bombeo

Ahorros eléctricos

Diario (kWh/día)	Mensual (kWh/mes)	Periodo de invierno (kWh/periodo de invierno)
1637.71	32754.2	85160.9

Ahorro total económico = Ahorro “chiller” + Ahorro equipo de bombeo

Ahorros económicos

Diario (USD/día)	Mensual (USD/mes)	Periodo de invierno (USD/periodo de invierno)
155.13	3102.65	8066.89

2. Ajuste del set point

Por el concepto de incremento de la temperatura de agua helada, producto de que las variaciones fueron solamente de 1 grado el efecto en la reducción de los consumos es menor que en la variante anterior

Ahorro diario

Consumo para los días 28 y 29 de enero de 2005		
Día 28	865,50 KWh	Temperatura de set point 11 y 12 °C
Día 29	803,70 KWh	Temperatura de set point 12 y 13 °C
Ahorro	61,8 KWh / día	

Ahorro económico $5,79 \frac{USD}{día}$

Ahorro mensual

Estableciendo que en cada mes de invierno la enfriadora trabaje solo un promedio de 10 días de los 30 correspondientes a cada mes, se estima el ahorro mensual en:

$$61,8 \frac{kWh}{día} \times 30 \frac{día}{mes} = 1854 \frac{kWh}{mes}$$

$$\text{Ahorro económico} = 175,4 \frac{USD}{mes}$$

3.4.1 Impacto ambiental.

A favor de realizar una valoración medioambiental de las medidas de ahorro implementadas en el hotel se evalúa la cantidad de kg. CO₂ dejados de emitir a la atmósfera por el consumo de 1 kWh

El valor referido de Kg. de CO₂/ kWh consumido se toma a partir de estudios recientemente realizados y tiene un valor de 1.17 [2]

Tabla de disminución de emisiones a la atmósfera por el consumo de energía eléctrica.

Diario $\left(\frac{kgCO_2}{kWh}\right)$	Mensual $\left(\frac{kgCO_2}{kWh}\right)$	Periodo de invierno $\left(\frac{kgCO_2}{kWh}\right)$
1916.12	38322.41	99638.253

Conclusiones parciales:

1. Los valores de las máximas y la mínimas en el interior de la habitación fluctúan en función de la época del año; en el mes de abril se pueden tener valores entre los 26 y 24 grados Celsius en el 100% de los casos, mientras que en los meses de noviembre y enero en el 89% de las mediciones se encuentran entre los 23 y 18 grados Celsius.
2. Con respecto a los consumos, se observa que en el 89% de los casos tiene sus menores valores entre las 12 y las 13 horas, a pesar de que a esa hora se presentan los valores más altos de temperatura ambiental, como el nivel de ocupación es muy bajo se toman medidas de ahorros que consiste en apagar las bombas que trasiegan el agua helada. Los máximos consumos se alcanzan en el horario posterior a las 16 horas, debido a la llegada de turistas.
3. Como resultado de la evaluación experimental se comprueba que:
 - Existe una correlación entre la temperatura ambiente y el consumo del chiller.
 - El incremento de la temperatura del agua helada provoca una reducción en el consumo del chiller.

Conclusiones

1. Los sistemas centralizados constituyen una opción superior a las unidades de ventana en el sector turístico ya que permiten mantener una temperatura interior adecuada, garantizan el control de la humedad y la calidad del aire, en la provincia de Cienfuegos los sistemas instalados son todo agua, con condensador enfriado por aire y recuperación de calor para uso sanitario.
2. Los factores climatológicos tales como radiación solar, temperatura, humedad relativa y el viento influyen en los consumos energéticos de las instalaciones climatizadas, siendo la temperatura ambiental el parámetro de mayor influencia en los consumos del chiller.
3. En general, la literatura revisada reporta que no existe una estrategia generalizada de operación para cargas parciales en los sistemas centralizados por agua helada ya que la elección de la estrategia a seguir en cada caso depende de condiciones de operación, característica de los diseños y factores externos
4. Los parámetros de operación tienen una influencia significativa en el consumo del chiller y su control contribuye a la reducción del consumo energético en las instalaciones turísticas.
5. Como resultado de la evaluación experimental se comprueba que:
 - Existe una correlación entre la temperatura ambiente y el consumo del chiller.
 - El incremento de la temperatura del agua helada provoca una reducción en el consumo del chiller.
 - El trabajo de un solo chiller a cargas parciales provoca una reducción importante en el consumo.
 - Se trabaja con temperaturas en el interior de las habitaciones muy por debajo de la temperatura de confort lo que implica un sobreconsumo de energía

Recomendaciones

1. Continuar el estudio experimental iniciado en este trabajo incluyendo otras variables climatológicas como es el caso del viento.
2. Ampliar el estudio a otros parámetros de operación.

Referencias Bibliográficas

1. Armas Valdés, Juan Carlos. Gestión Energética y Potencialidades de Ahorro en el Sistema Centralizado de Climatización del Hotel Unión.- - Trabajo de Diploma UCf (Cf), 2004. – h91.
2. Escobar Palacio, J. C. Análisis Estacional del Comportamiento Energético del Hotel Jagua.- -Trabajo de Diploma Ucf (Cf), 2004. - - h35.
3. El clima como característica extrínseca de la vivienda. 2003. - - [s.l ; s.n], 2003. h15
4. Soriano, Jaime. Caracterización Energética del Hotel Unión. .- - Trabajo de Diploma UCf (Cf), 2003. – h110.
5. Conferencia de la Asociación de Ingenieros de Servicio en Refrigeración . - - Saint John New Bruwsking: NBCC, 2005. - - CD
6. Chiller Plant Energy Performance. - - New York: Internacional Corporation HVAC&R Engineering, 2004. - - CD
7. Small Chilled Water Systems. American Standars TRANE Engineering Newsletter (Canadá) 32 (4): 18 - 20, 2004.
8. Variable Speed primary chilled water pump control with two way valve direct return system. - - Canadá: Powersav ITT Industries, 2003. - - [s.p]
9. ARTI Announces Final Report on the Benefits of Variable Primary Flow Chilled Water Systems. Tomado de <http://www.arti-21cr.org/>, 2004

Bibliografías

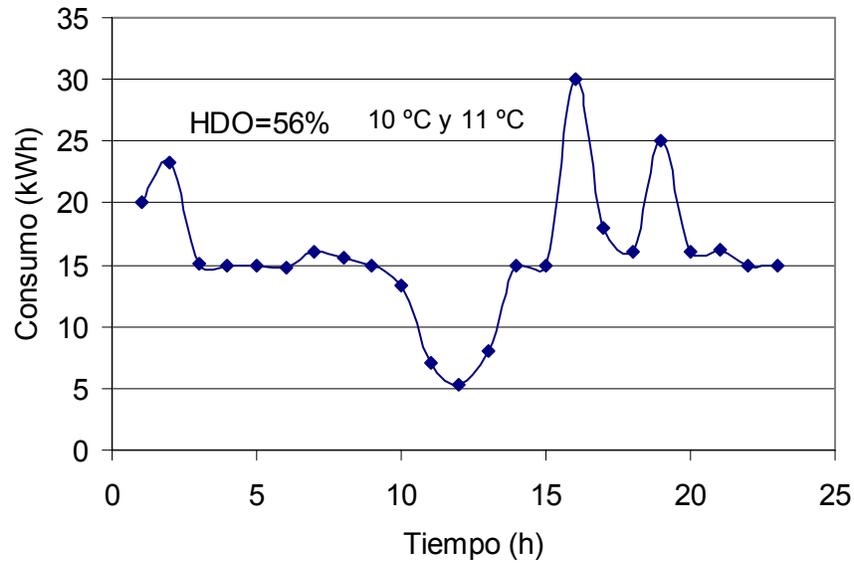
- A Preliminary Assessment of Strategies to Raise the Off-design Energy Efficiency of Chiller Machines. - - San Diego State: Energy Institute, 2004. - - CD.
- Armas Valdés, Juan Carlos. Gestión Energética y Potencialidades de Ahorro en el Sistema Centralizado de Climatización del Hotel Unión. / Ing. Juan Carlos Armas Valdés; Margarita J. Lapidó Rodríguez, José P. Monteagudo Yanes, tutores.— Trabajo de Diploma UCf (Cf), 2004. - 91h.: ilus.
- ARTI Announces Final Report on the Benefits of Variable Primary Flow Chilled Water Systems. Tomado de <http://www.arti-21cr.org/>, 2004
- Beyeene, Assfaww. A Preliminary Assessment of Strategies to Raise the Off-Design Energy Efficiency of Chiller Machines./ Assfaww Beyeene. - - San Diego State: University CIEE Project Highlight, 2004. - - CD
- Chiller Control Plant / Michael Bitondo. [et, al]. - - New York: Tosi Carrier Corporation Syracuse, 1999. - - [s.p.]
- Chiller Plant Energy Performance. - - New York: Internacional Corporation HVAC&R Engineering, 2004. - - CD
- Conferencia de la Asociación de Ingenieros de Servicios en Refrigeración. - - Saint John New Brunswick: NBCC, 2005. - - CD
- El clima como característica extrínseca de la vivienda. 2003. - - [s.l ; s.n], 2003. - - [s.p.]
- Escobar Palacio, José Carlos. Análisis Estacional del Comportamiento Energético del Hotel Jagua. / Ing. José Carlos Escobar Palacio; Margarita J. Lapidó Rodríguez, José P. Monteagudo Yanes, tutores. – Trabajo de Diploma UCf (Cf), 2004. – 97h.: ilus.
- Parallel Chiller Sequencing. Tomado de <http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>, 2004
- Related Efficiency Upgrades Chiller Sequencing Decoupler Systems. Tomado de <http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>, 2005
- Small Chilled Water Systems. American Standards TRANE Engineering Newsletter (Canadá) 32 (4): 18 - 20, 2004.

- Soriano, Jaime. Caracterización Energética del Hotel Unión. / Jaime Soriano; Margarita J. Lapidó Rodríguez, José P. Monteagudo Yanes, tutores. – Trabajo de Diploma UCf (Cf), 2003. – 110h.: ilus.
- Tosí, Mark J. Chiller Control Plant./ Mark J. Tosi, Michael Bitondo. - - New York: Carrier Corporation, 1999. - - [s.p.]
- Trimming energy costs? Don't overlook the chiller plant. - - E.E.U.U.: Siemens Building Technologies, 2005. - - CD
- Variable Speed primary chilled water pump control with two way valve direct return system. - - Canadá: Powersav ITT Industries, 2003. - - [s.p.]

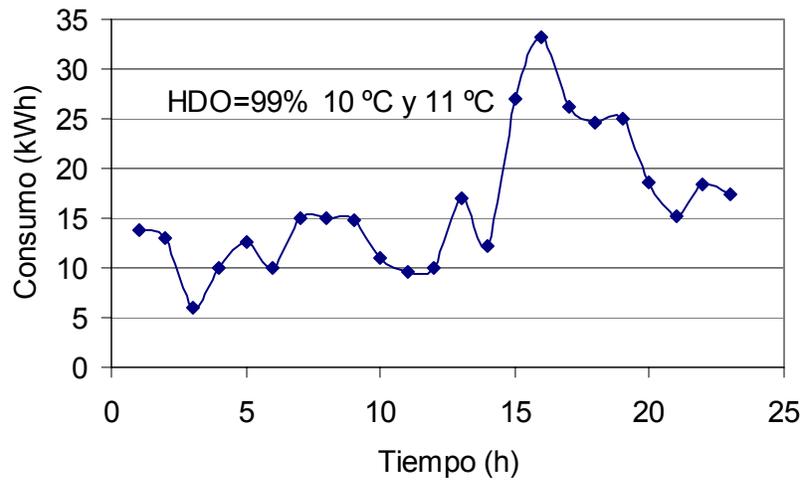
Anexos

Anexo B – 1: Gráficos del comportamiento diario del consumo.

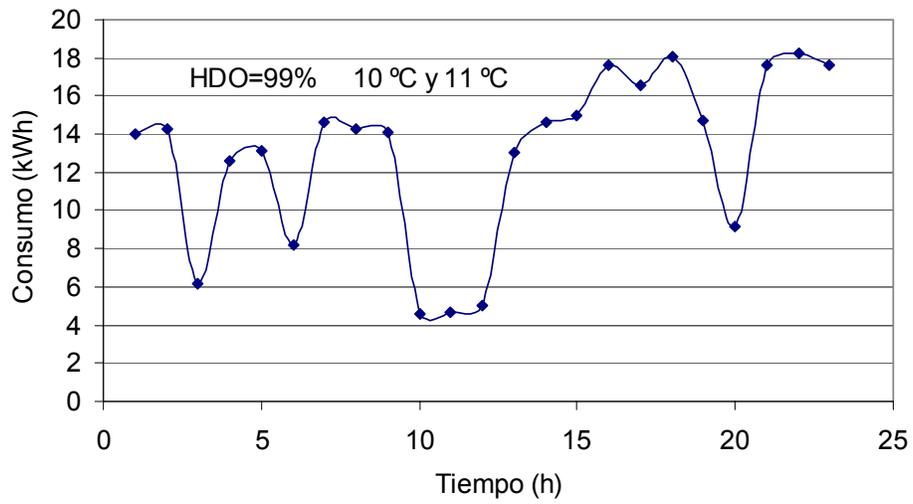
Comportamiento del consumo del día 16-11-04



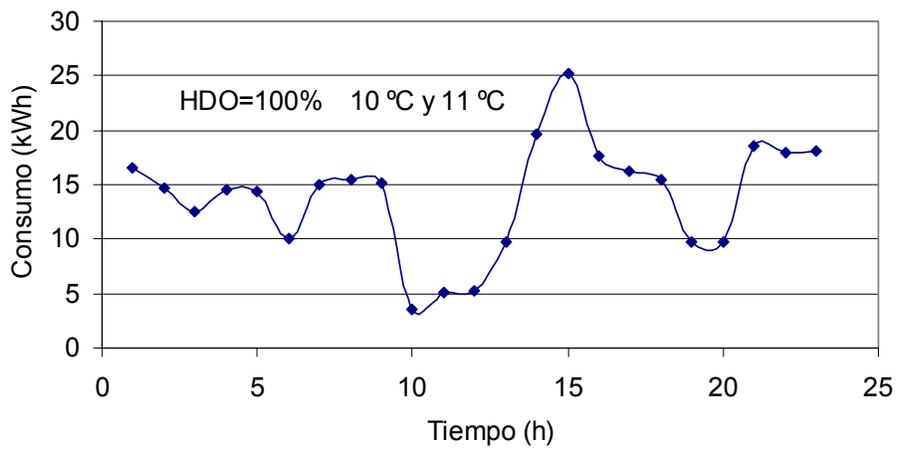
Comportamiento del consumo del día 17-11-04



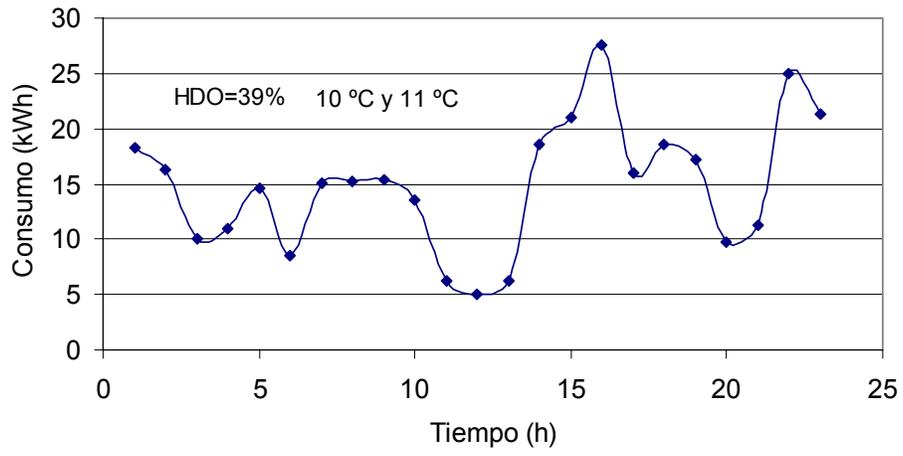
Comportamiento del consumo del día 18-11-04



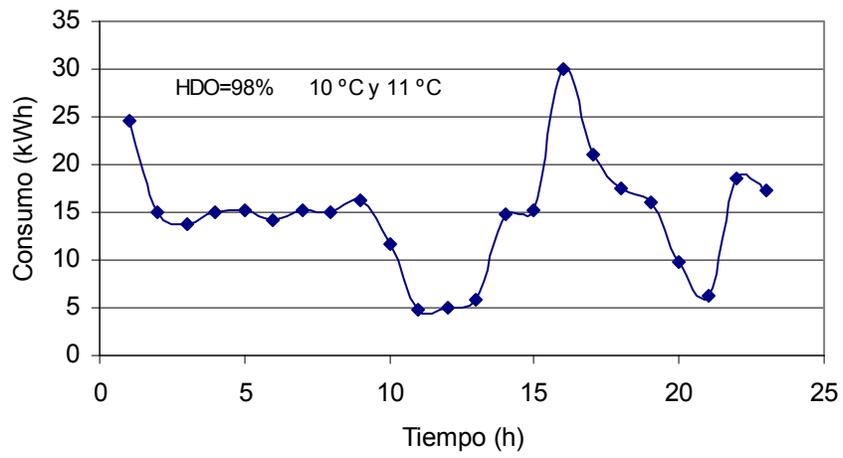
Comportamiento del Consumo del día 19-11-04



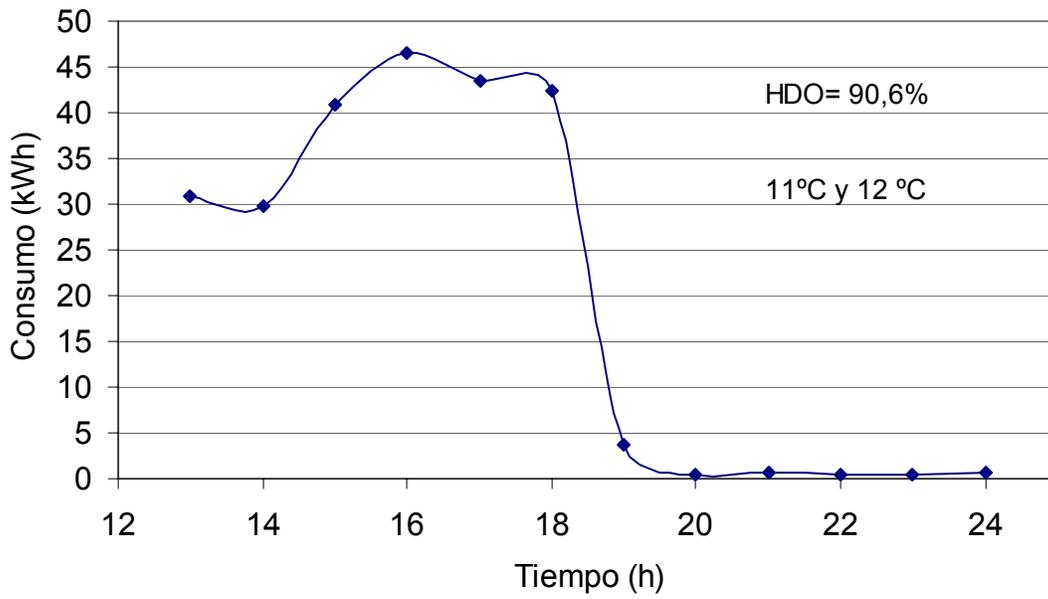
Comportamiento del Consumo del día 20-11-04



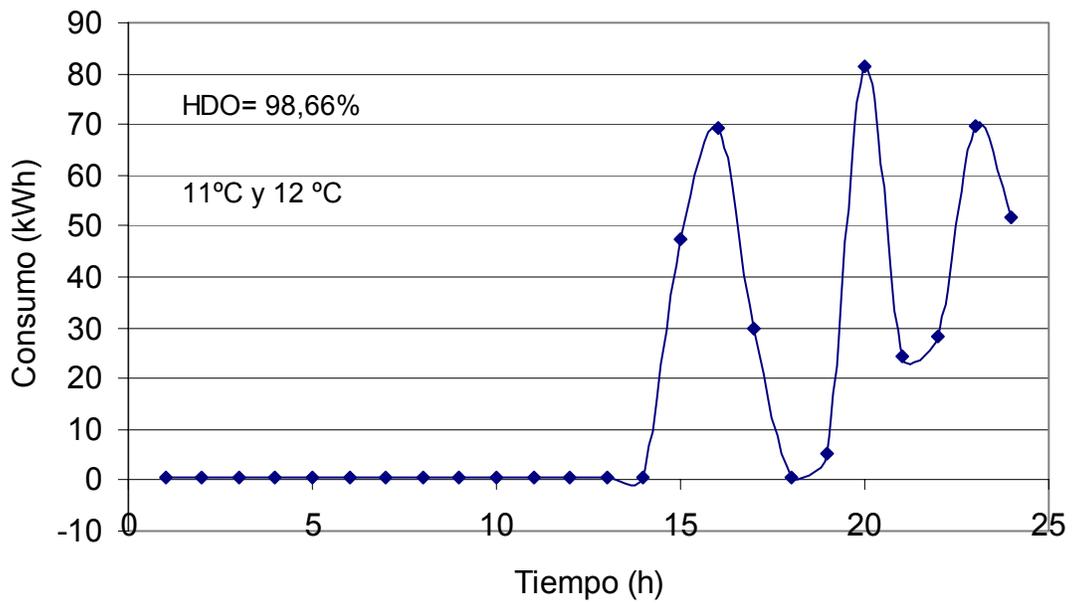
Comportamiento del consumo del día 21-11-04



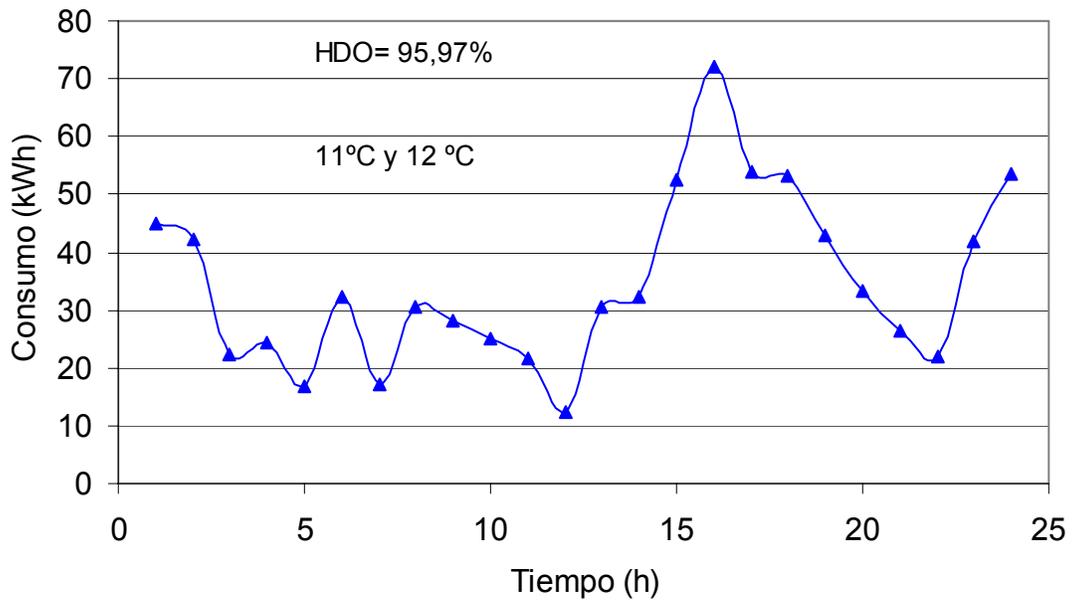
Comportamiento del Consumo del día 25-1-05



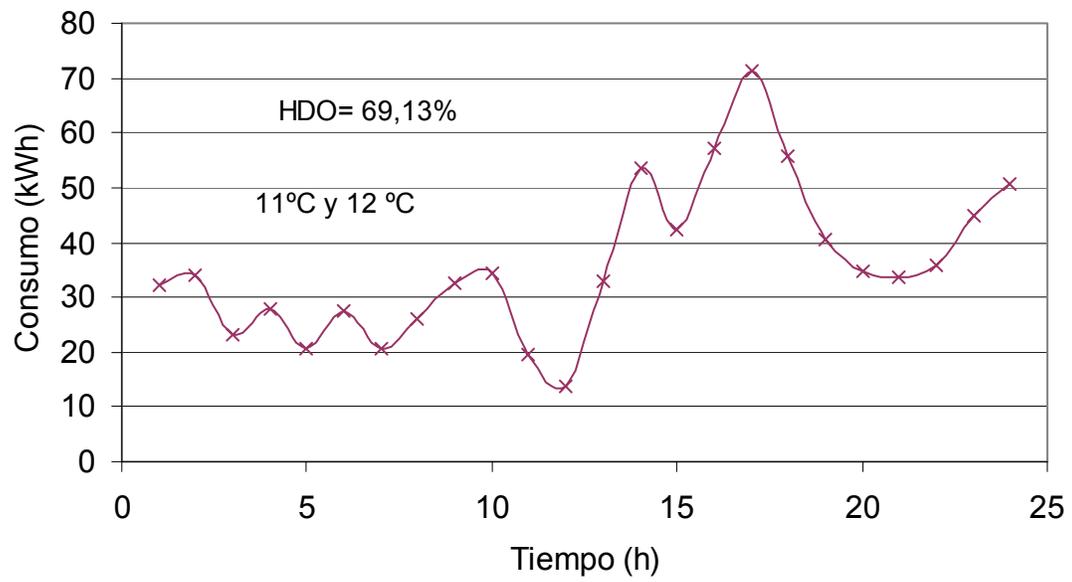
Comportamiento del Consumo del día 26-1-05



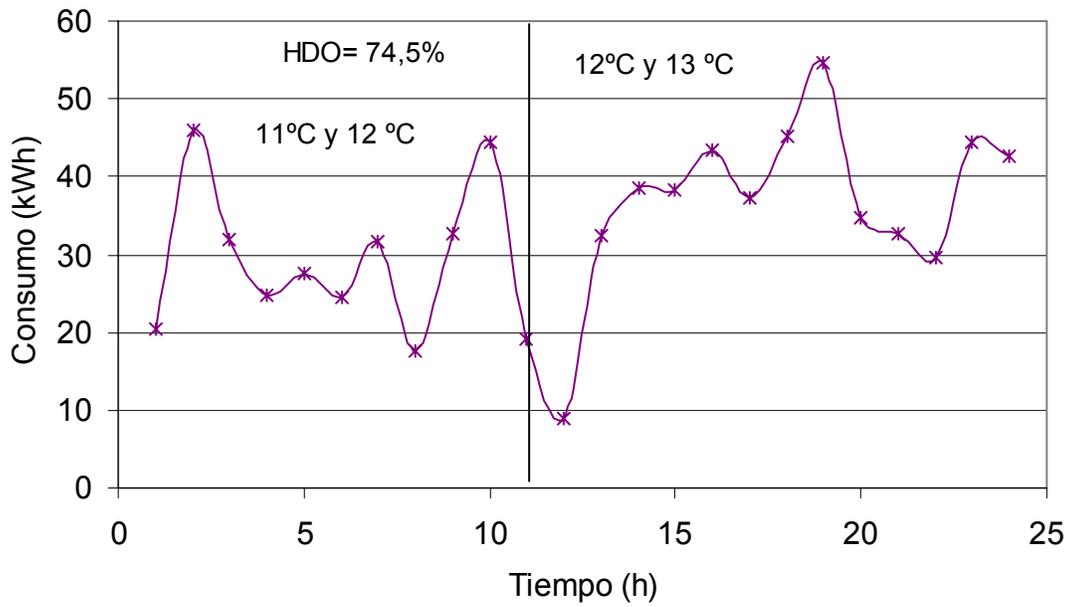
Comportamiento del Consumo del día 27-1-05



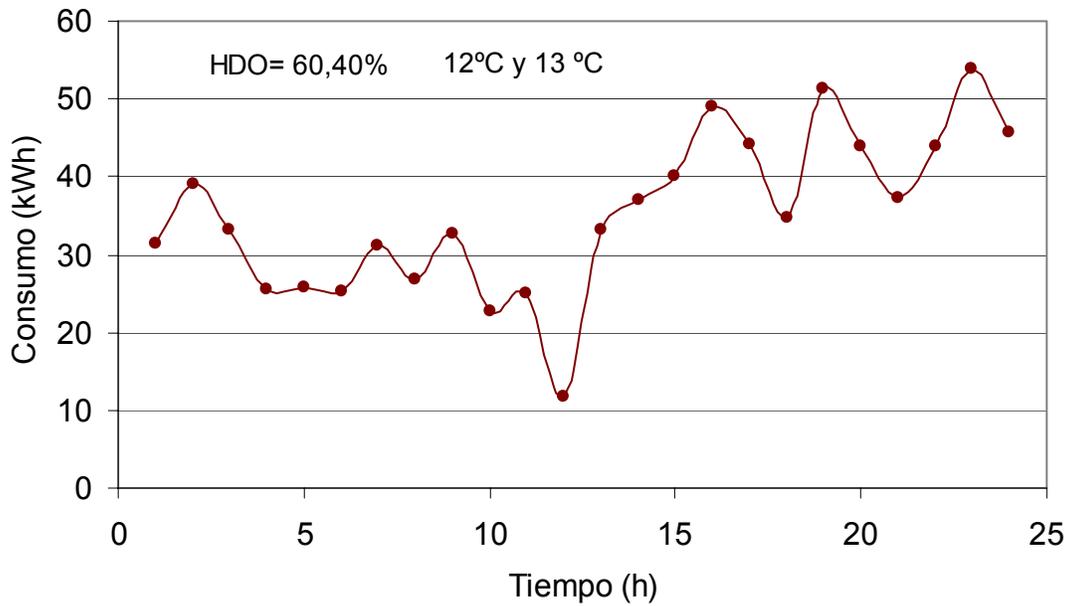
Comportamiento del Consumo del día 28-1-05



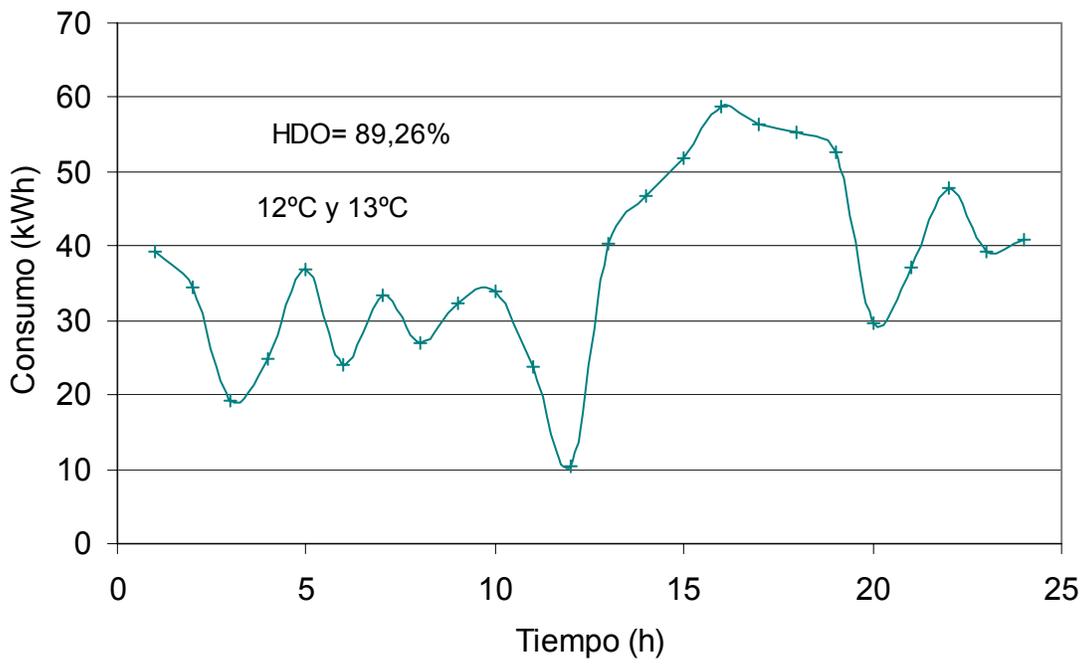
Comportamiento del Consumo del día 29-1-05



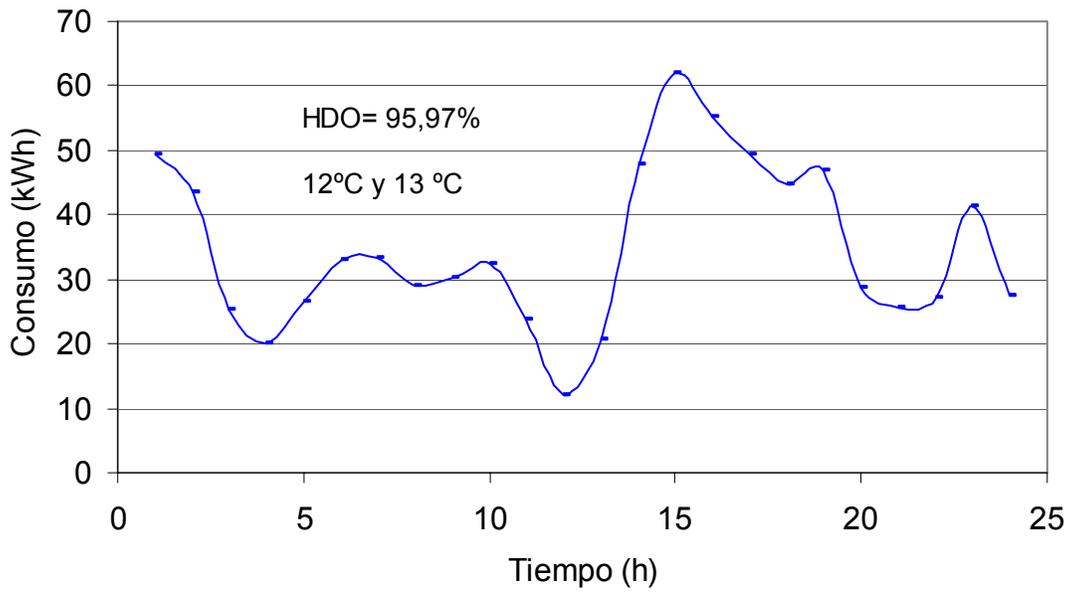
Comportamiento del Consumo del día 30-1-05



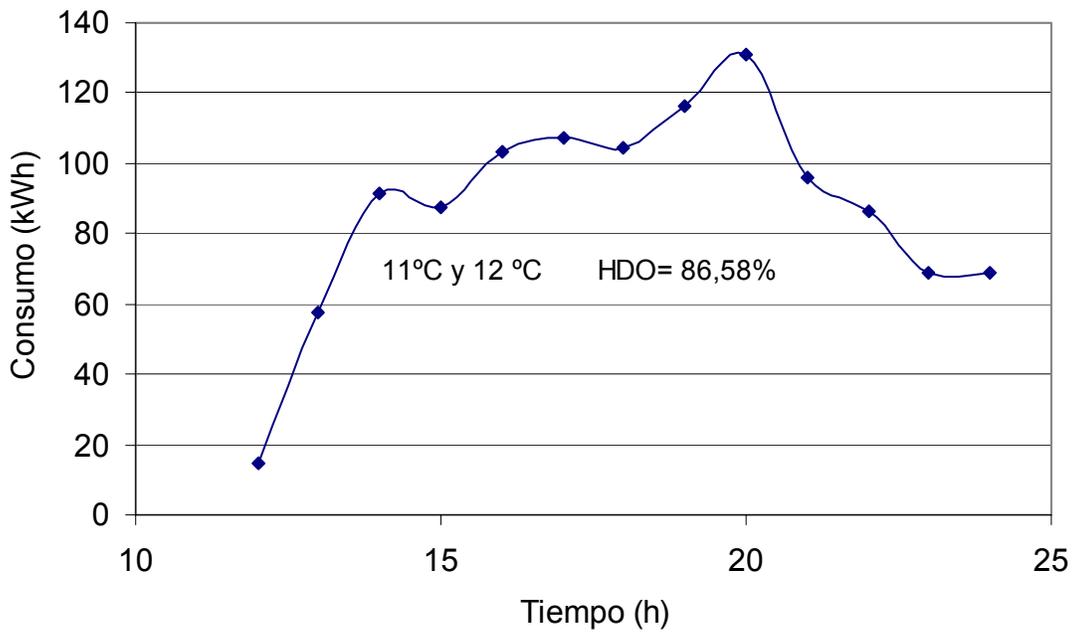
Comportamiento Consumo del día 31-1-05



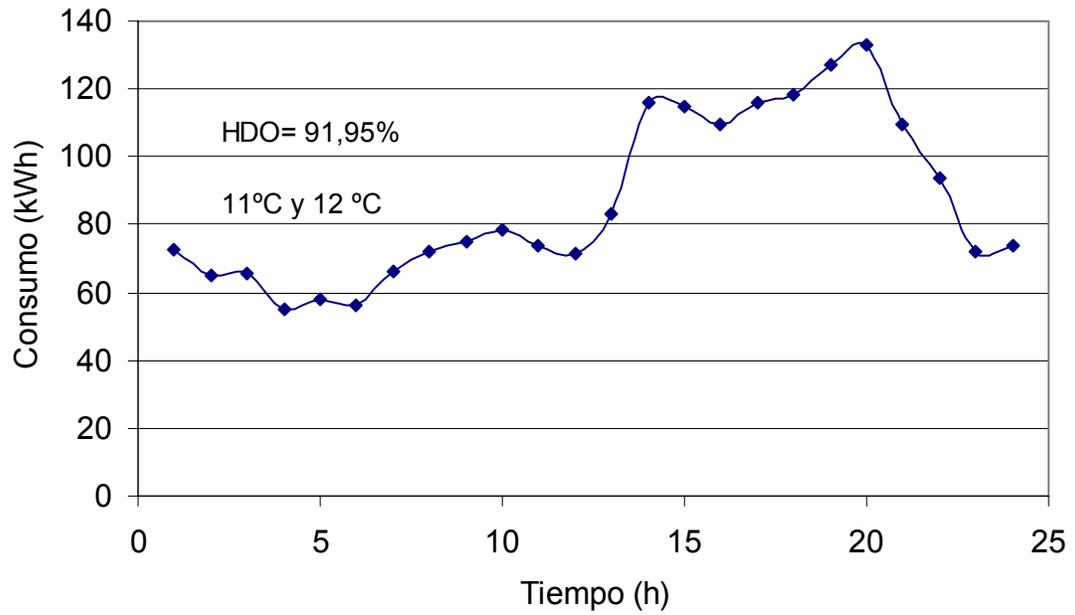
Comportamiento Consumo del día 1-2-05



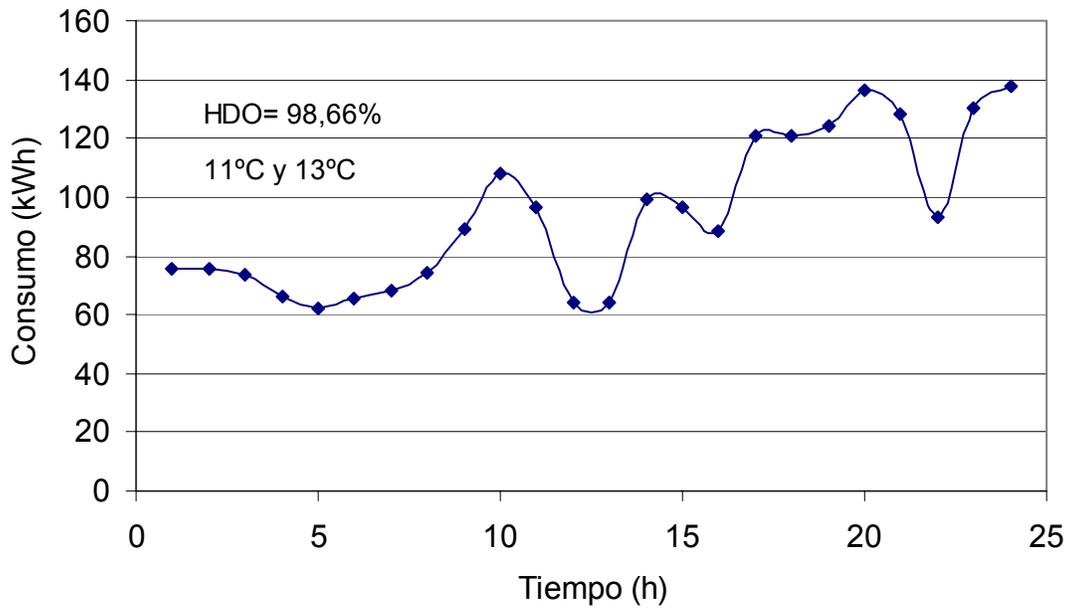
Comportamiento del Consumo del día 4-4-05



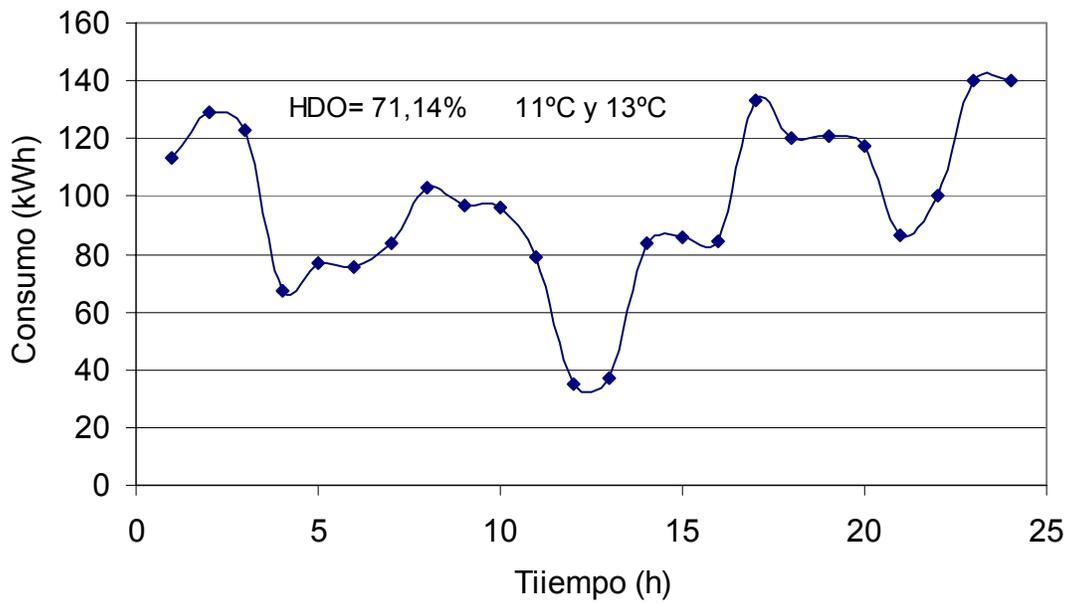
Comportamiento Consumo del día 05-04-05



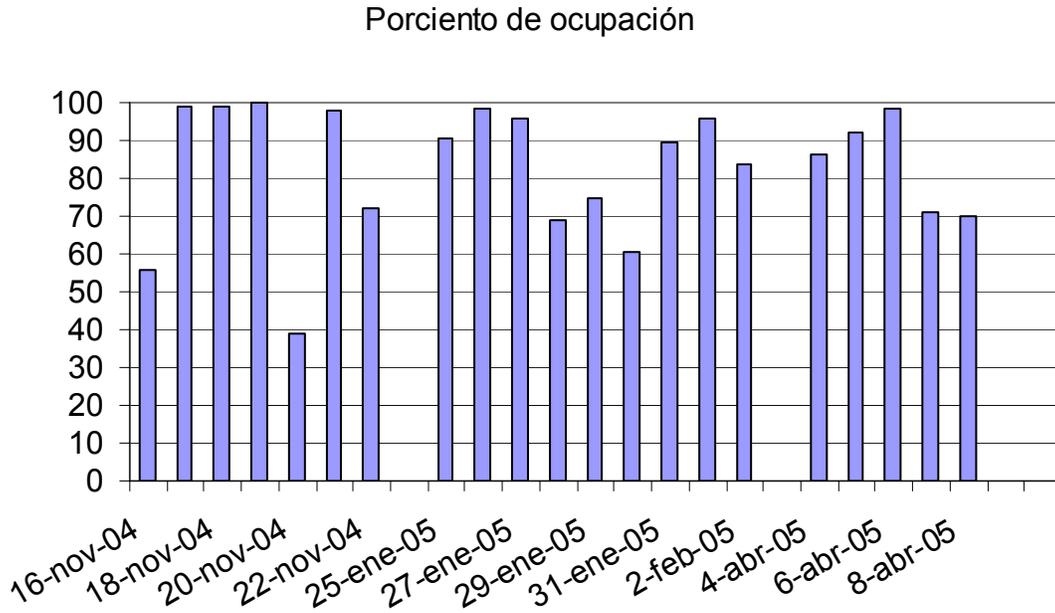
Comportamiento Consumo del día 06-04-05



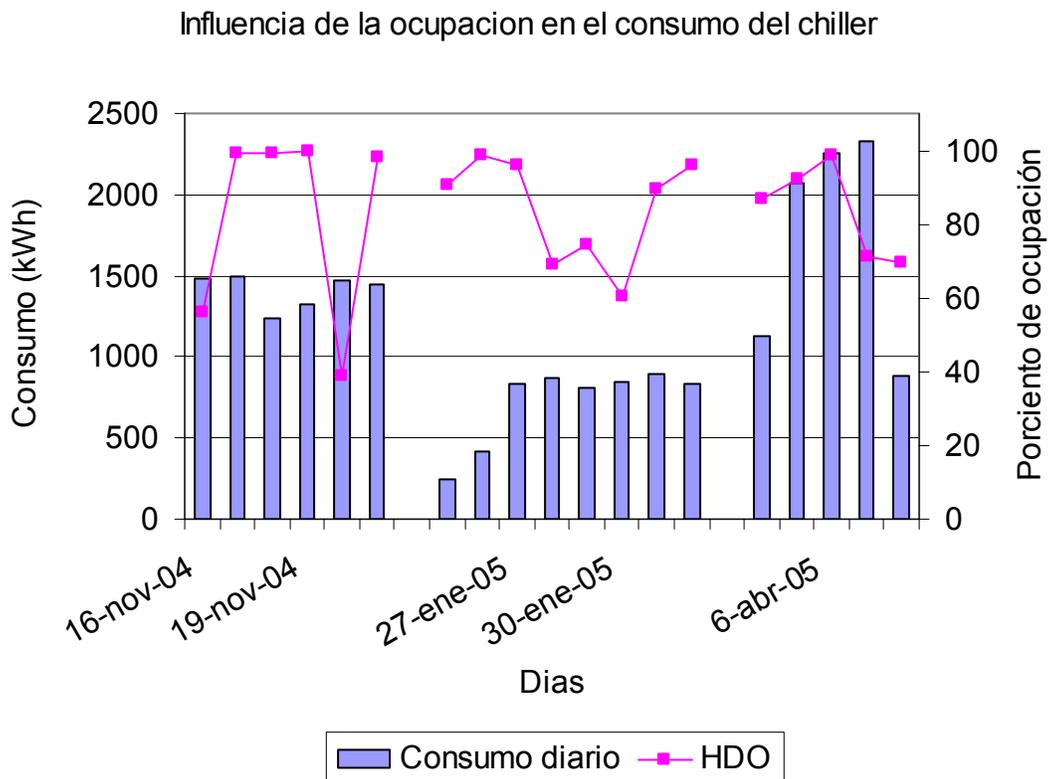
Comportamiento del Consumo del día 07-04-05



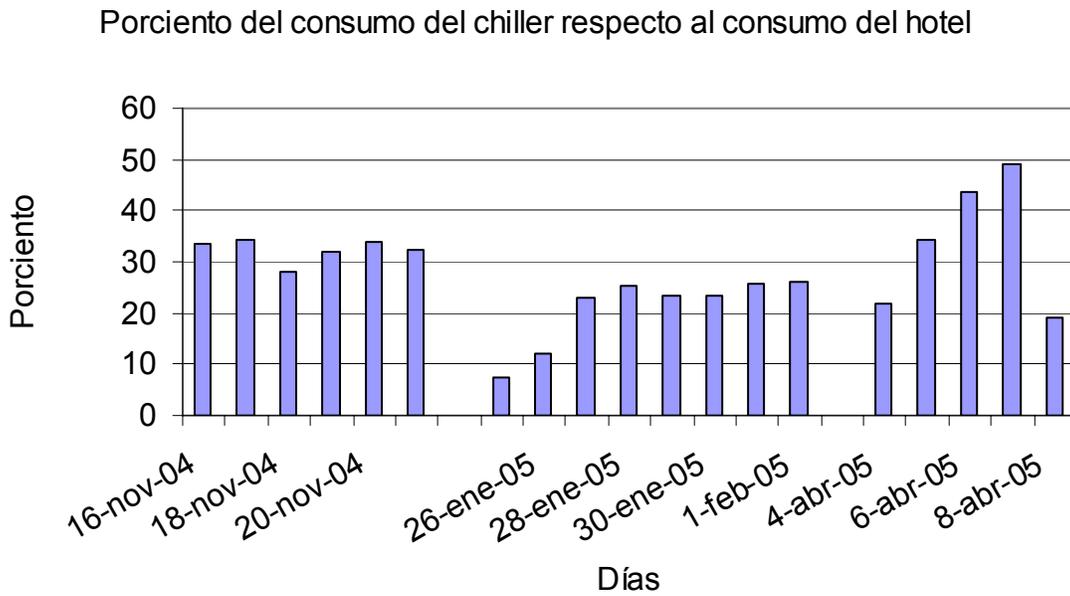
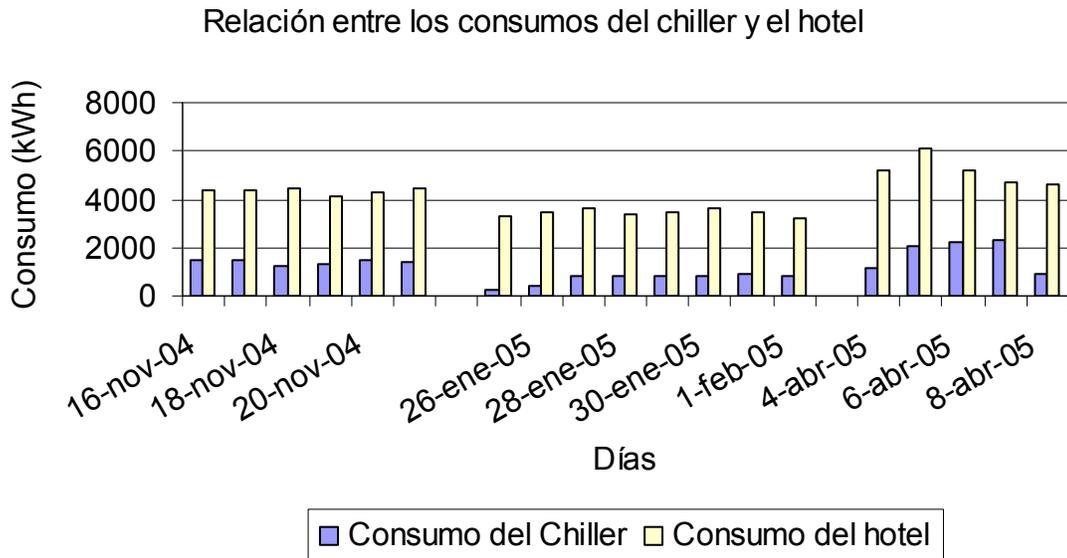
Anexo B – 2: Porciento de ocupación.



Anexo B – 3: Influencia de la ocupación en el consumo del Chiller.

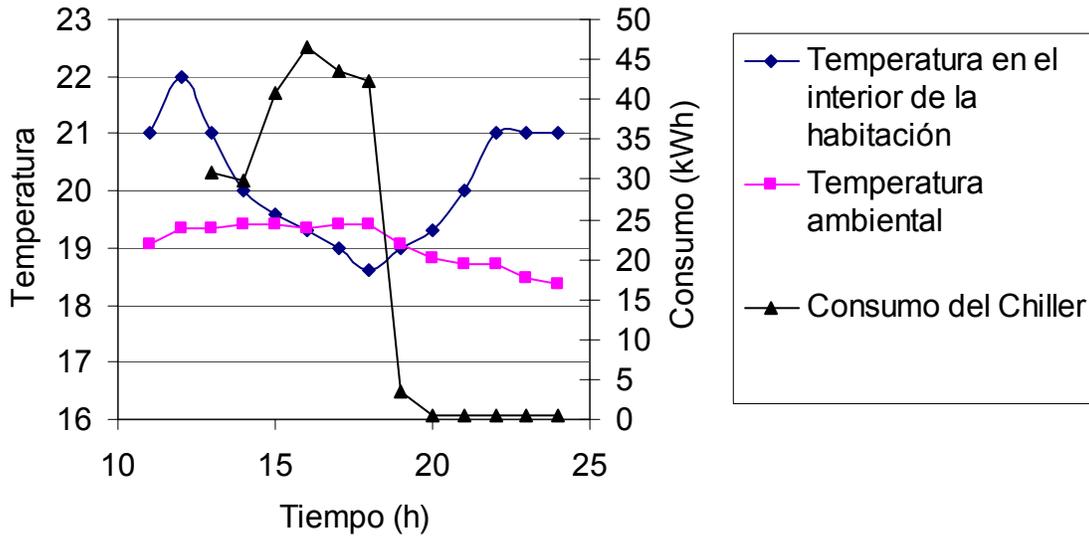


Anexo B – 4: Relación entre los consumos del Chiller y el Hotel.

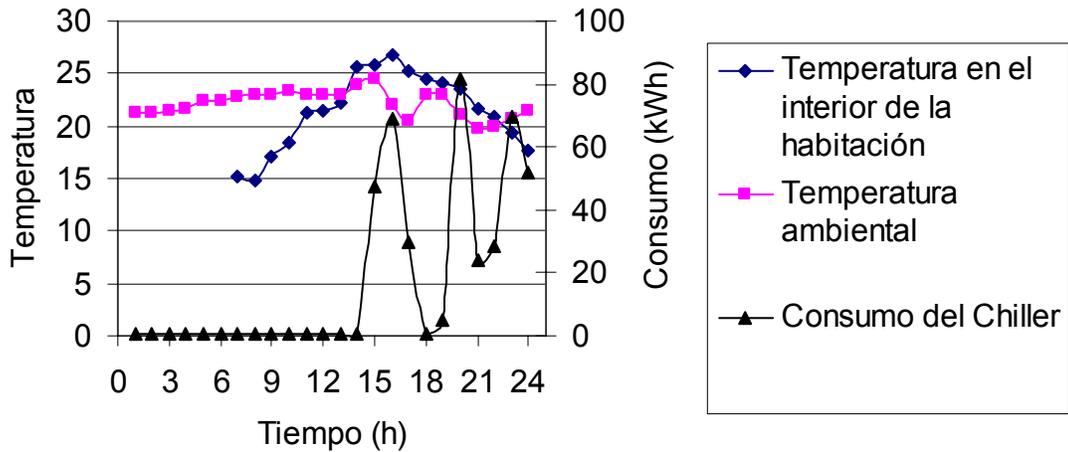


Anexo B – 5: Influencia de la temperatura ambiental, la de confort y el consumo del Chiller.

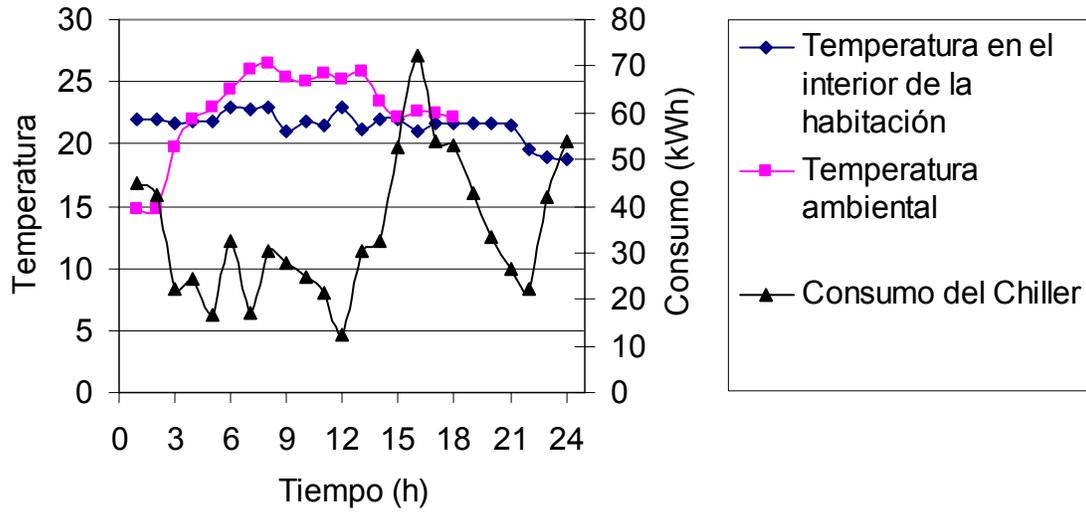
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 25-1-05



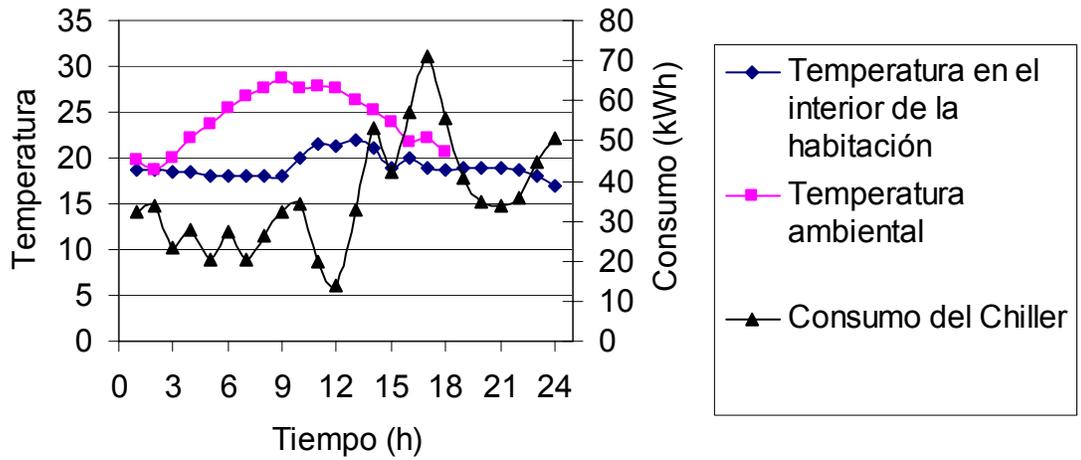
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 26-1-05



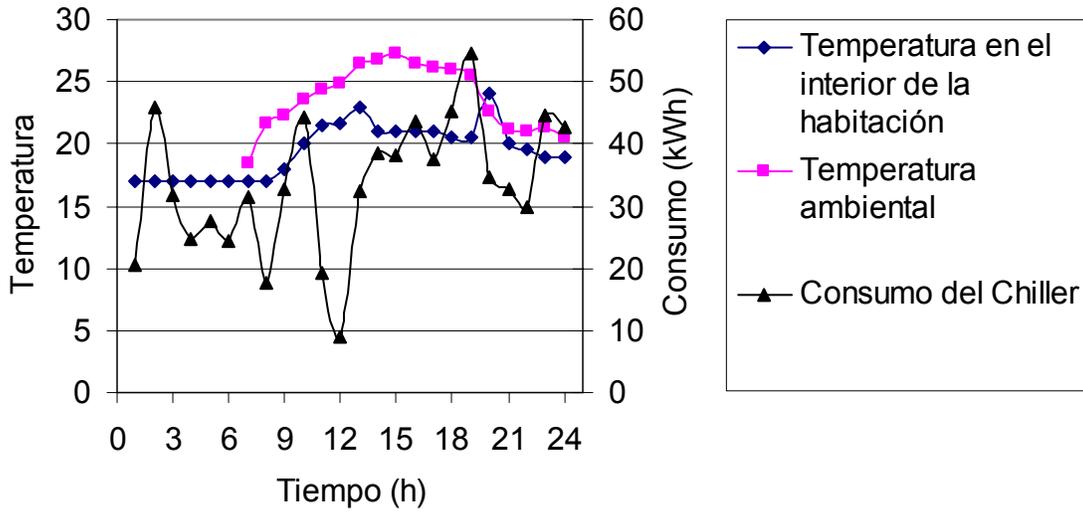
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 27-1-05



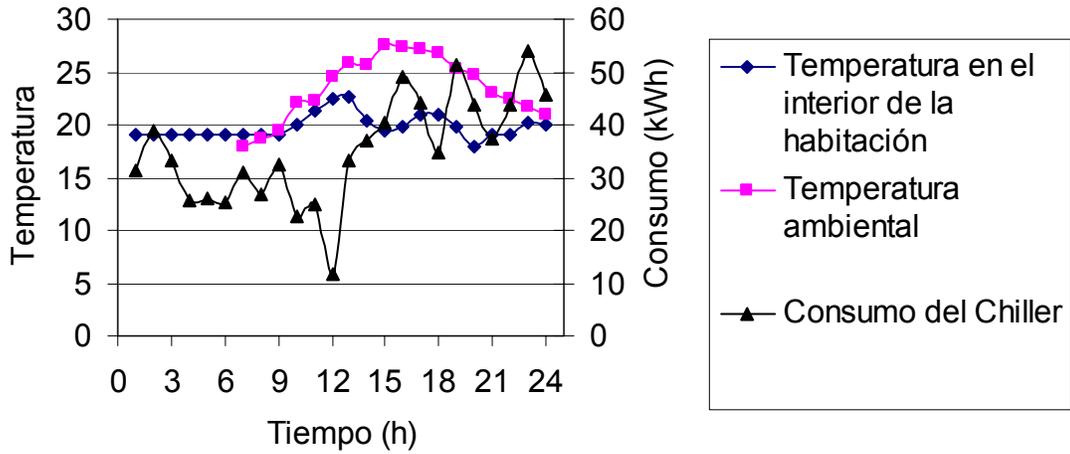
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 28-1-05



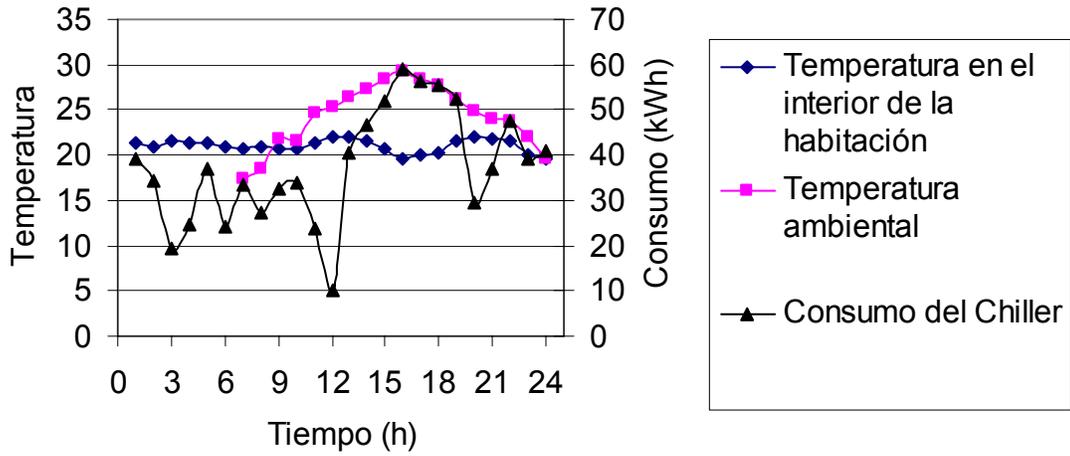
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 29-1-05



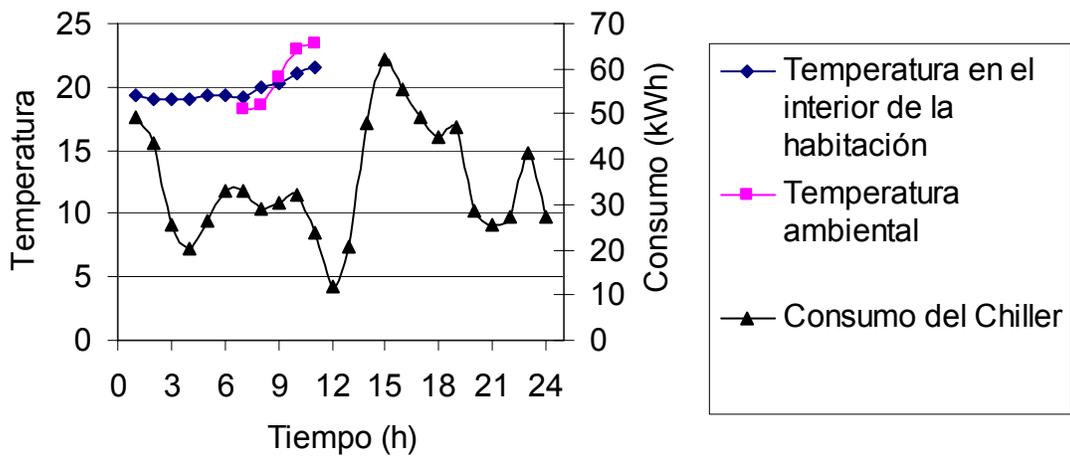
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 30-1-05



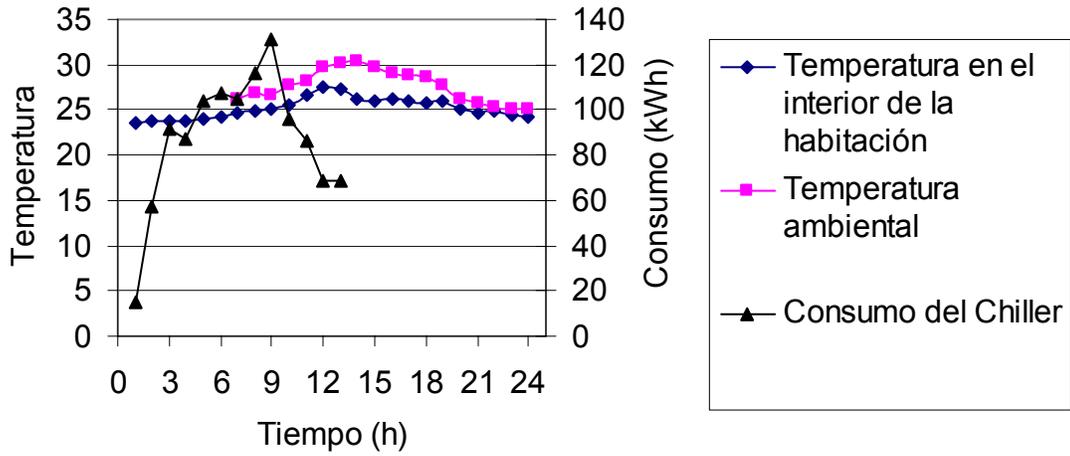
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 31-1-05



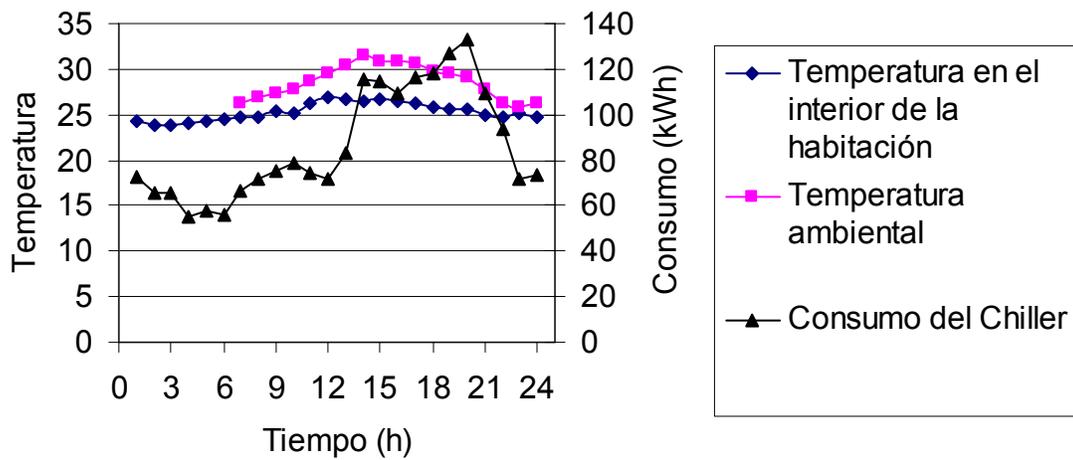
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 1-2-05



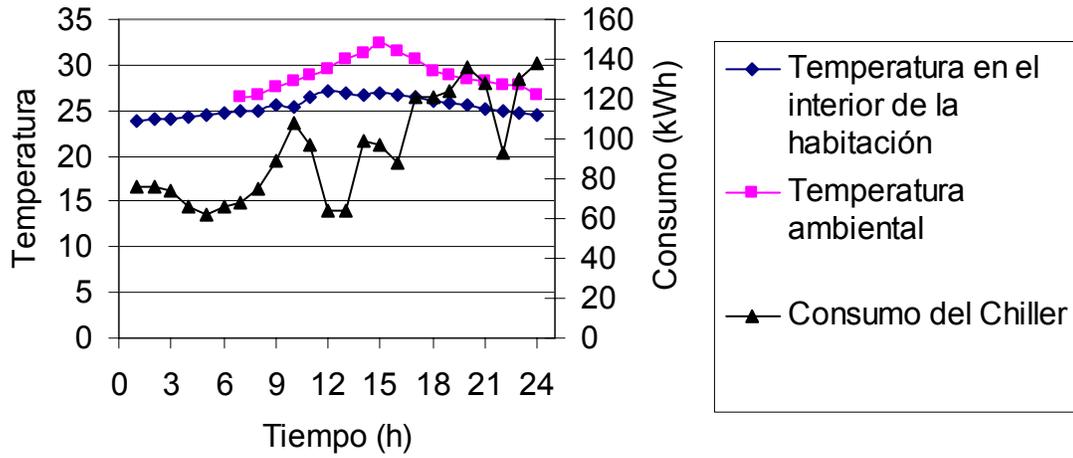
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 4 -4-05



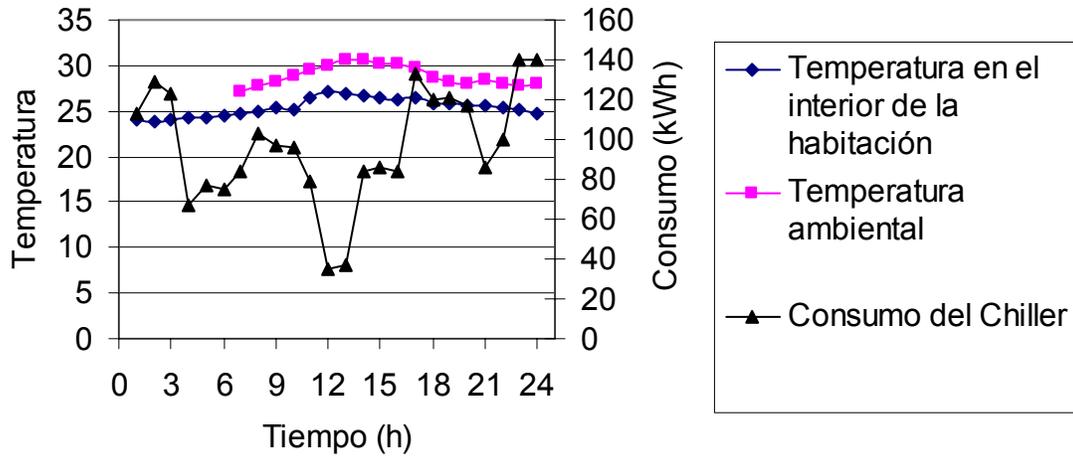
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 5-4-05



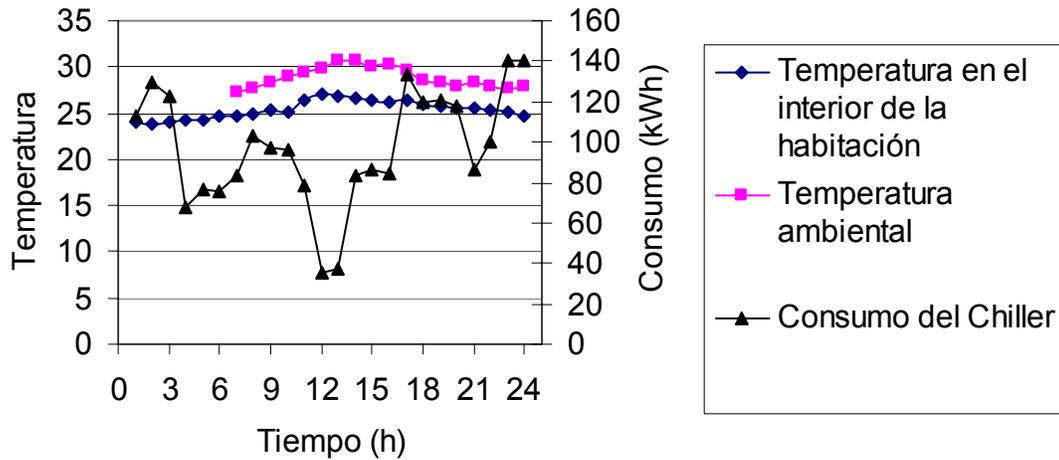
Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 6-4-05



Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 7-4-05

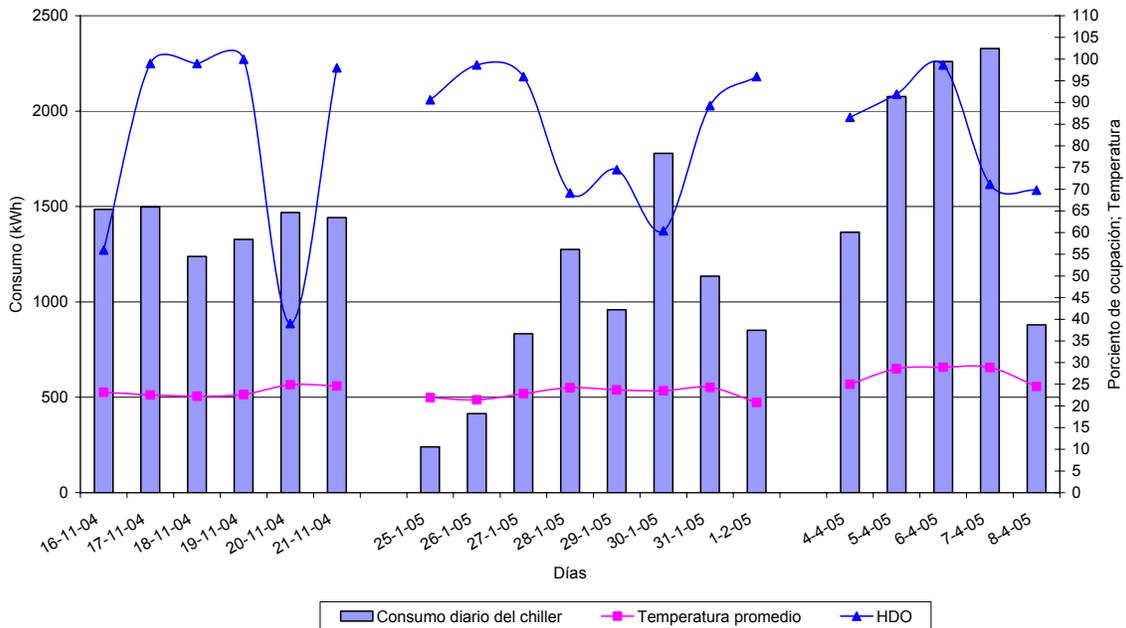


Relación temp. amb.- temp. hab. - consumo del día 8-4-05



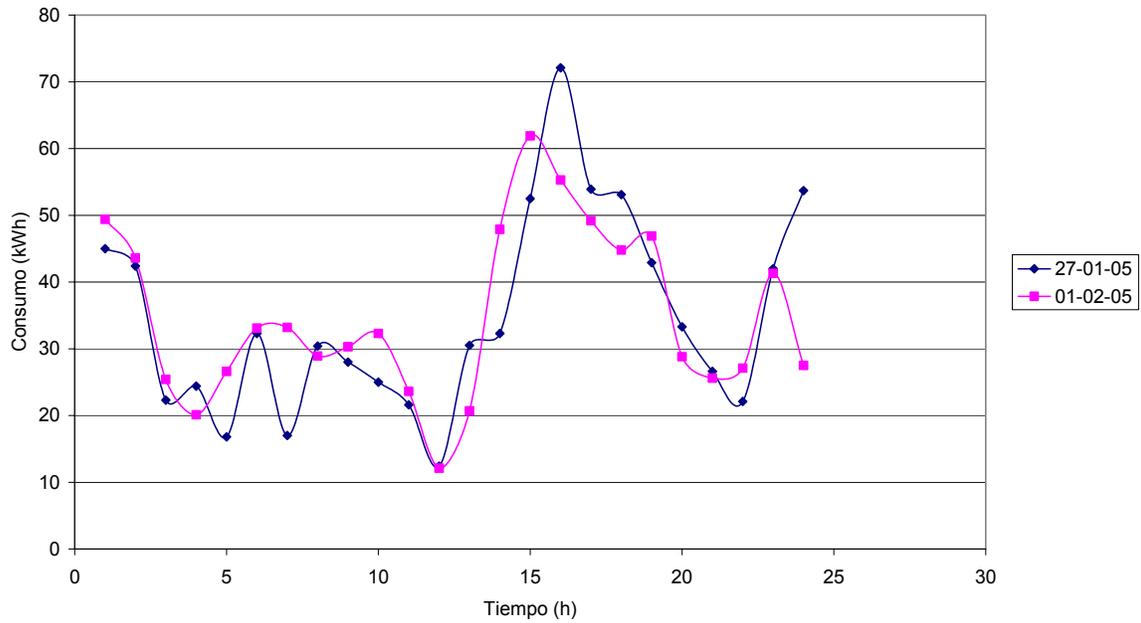
Anexo B – 6: Influencia del Porciento de ocupación y la temperatura ambiental en el consumo del Chiller.

Influencia del porciento de ocupación y la temperatura ambiental en el consumo del chiller

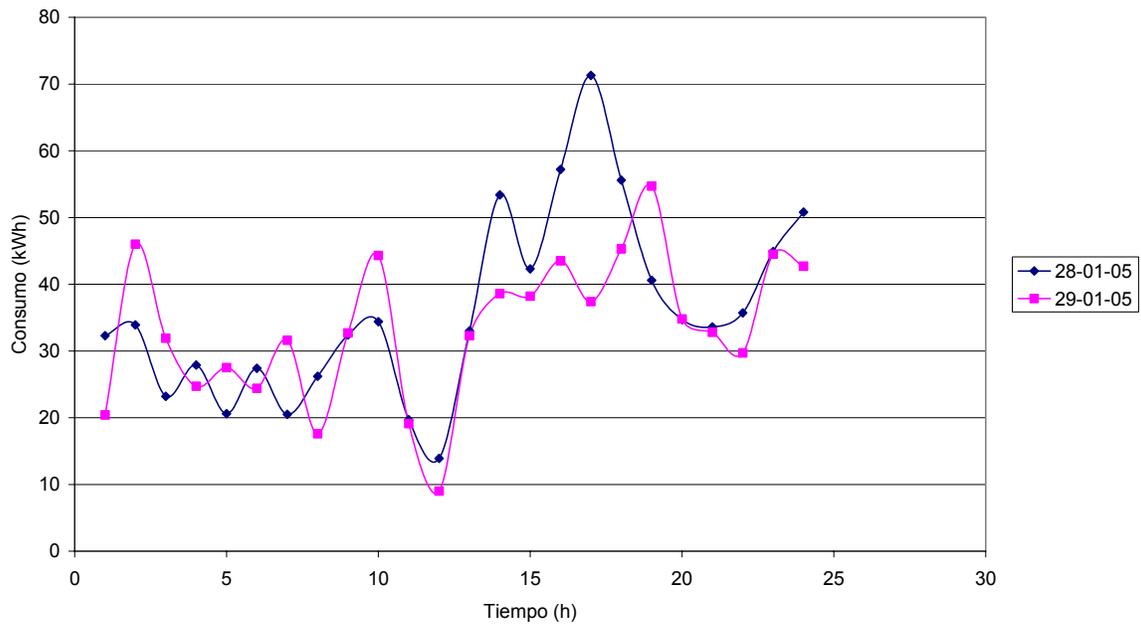


Anexo B – 7: Relación del consumo del Chiller para diferentes set point.

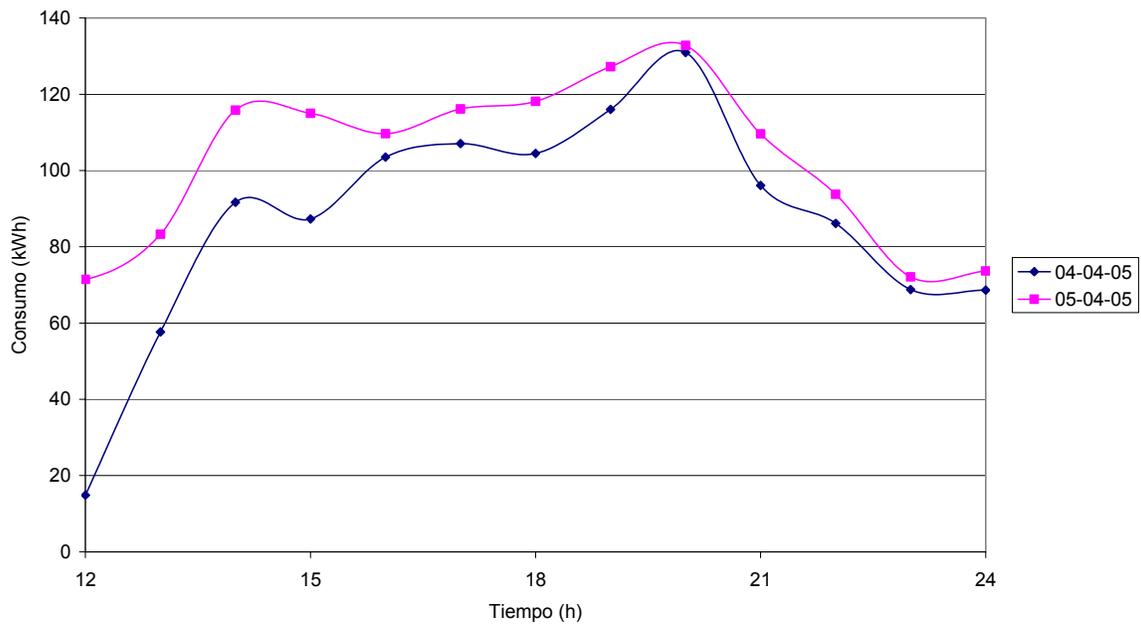
Relación del consumo entre el día 27 y el 1



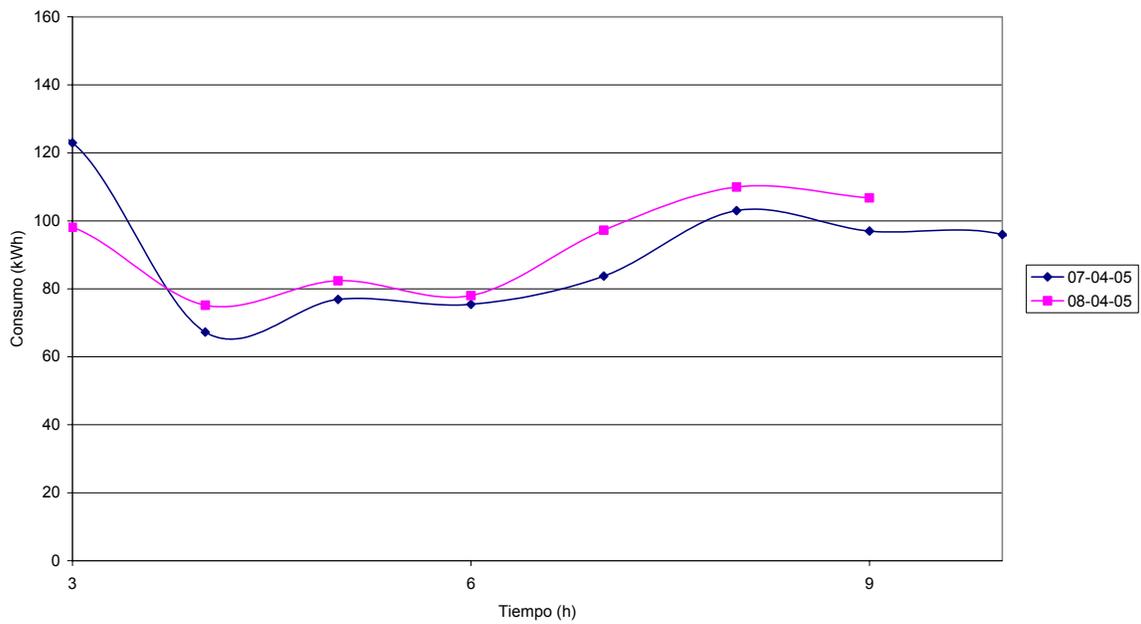
Relación consumo entre 28 y 29



Relación consumo entre 4 y 5 de abril

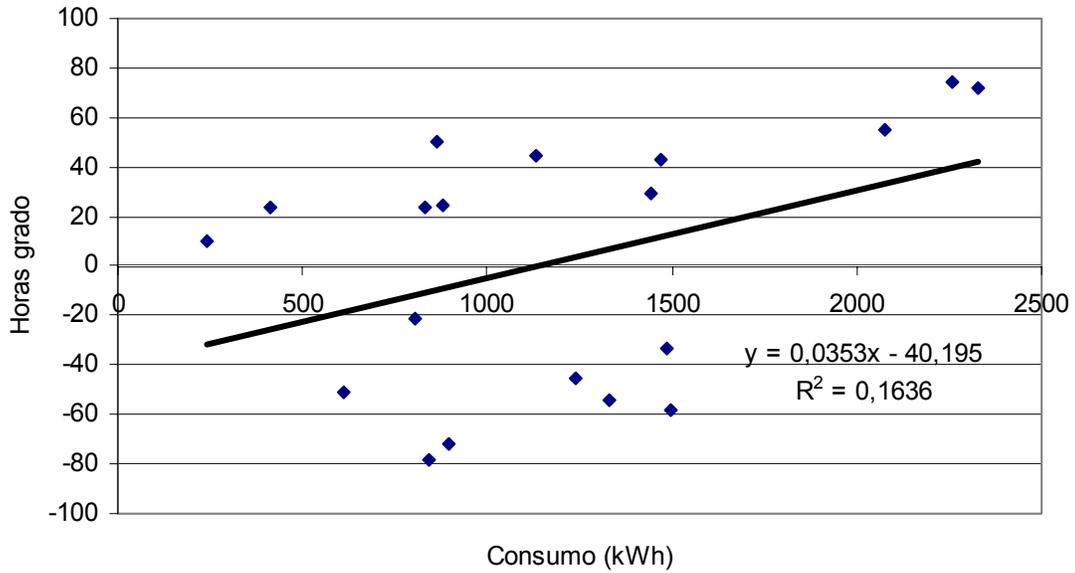


Relación consumo entre 7 y 8 de abril

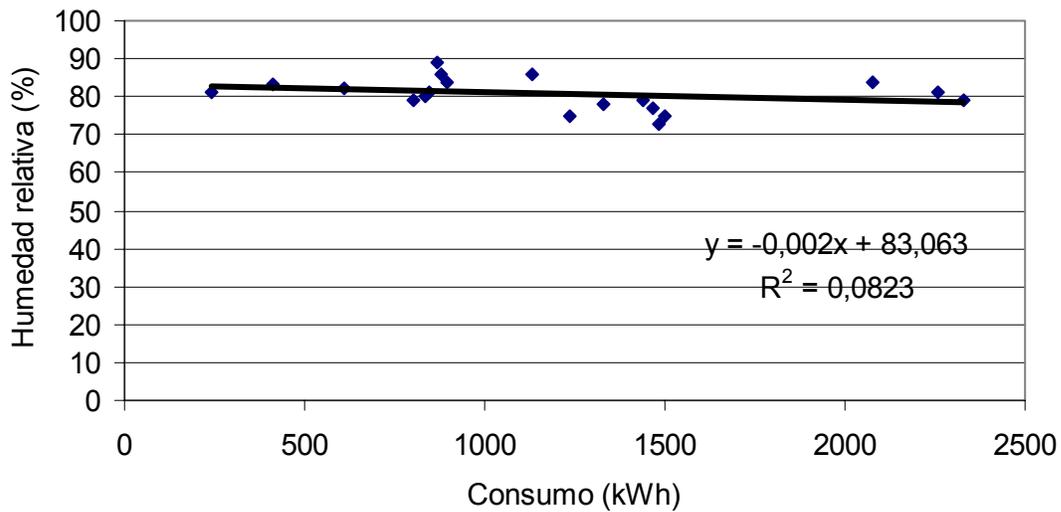


Anexo B – 8: Tendencia de Correlación.

Correlación entre las horas grado y el consumo del chiller



Correlación entre la humedad relativa y el consumo del chiller



Correlación entre la velocidad media del viento y el consumo del chiller

