



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

USO DE SISTEMAS SUSTENTABLES EN PROYECTOS DE
AIRE ACONDICIONADO

REPORTE DE TRABAJO PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:
JERÓNIMO ALATORRE IBARGÜENGOITIA

ASESOR: DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS



MÉXICO, D.F.

MAYO DE 2008

DEDICATORIAS

A mis padres Miguel Ángel y Lupita porque los quiero mucho y les debo lo que soy.

A mis hermanos Miguel Ángel y Paulina.

A Darío por haberme abierto tantas puertas.

A mis amigos por su apoyo y compañía:

Roberto, David, Juanjo, Miguel, Gustavo, Toño, Deni, Daniel, Mariano, David, Jorge, Jesús, Raul, Leonardo, Andrés, Andrea, Emilio, Gabo, Paquito, Javier, Pancho, Roberto, Sergio, Gabriel, Víctor Manuel, Federico, Luís, Alejandro, Abel, Maria, Ángel y Esteban.

Y todas las personas con las que he tenido el gusto de compartir momentos en la vida

A mi abuelita

Roberto, Ángeles y Eduardo.

A todos mis primos y tíos.

AGRADECIMIENTOS

A Darío Ibargüengoitia, por su incondicional apoyo, comprensión y por haberme abierto tantas puertas.

A Luís Ibargüengoitia, por todo su apoyo y soporte.

A José Luis Fernández Zayas que aun siendo una persona muy ocupada se dio tiempo para apoyarme en este trabajo.

A Miguel Ángel Alatorre y Lupita Ibargüengoitia por sus correcciones, consejos y todas las enseñanzas que me han dado.

Con mucho respeto y gratitud a mis sinodales por su revisión, comentarios, sugerencias y comprensión:

Ing. Rodrigo de Bengoechea Olguín

Dr. Roberto Camacho Zenit

M.I. Jesús Vicente González Sosa

M.I. José Esteban Barrios Bonilla

A mi compañero y amigo Luís Vidal por sus valiosas enseñanzas y por compartir sus experiencias.

A mis maestros de la carrera.

A Topiltzin Diaz por su arduo trabajo y colaboración en el proyecto.

A Rodrigo Blancas y Gabriel Guadarrama por su colaboración y soporte técnico en el proyecto.

A Federico Bernal por su soporte y comprensión.

A Norberto Chargoy y Teresa Gallardo por toda su ayuda.

A todos mis compañeros de trabajo por su profesionalismo y apoyo.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	.....I
AGRADECIMIENTOS	.....II
CONTENIDO	.....III
LISTA DE FIGURAS	.....V
LISTA DE TABLAS	.....VI
1. INTRODUCCIÓN	.....01
1.1. Objetivos	.....01
1.2. Mi experiencia profesional	.....01
1.3. Selección de proyecto	.....02
1.4. Estructura del trabajo	.....03
2. ALMACENAMIENTO DE HIELO	.....04
2.1. Definición	.....04
2.2. Beneficios	.....06
2.3. Elementos y funcionamiento del sistema	.....06
2.4. Capacidad de almacenamiento	.....09
3. CONTROLES Y SECUENCIA DE OPERACIÓN	.....11
3.1. Aspectos generales	.....11
3.2. Tipos de controles	.....11
3.3. Elementos de control	.....12
3.4. Sistemas de control de edificios	.....13
3.5. Protocolos de comunicación	.....14
3.6. Secuencia de operación	.....14
4. EJEMPLO DE APLICACIÓN	.....16
4.1. Planteamiento del problema	.....16
4.2. Sistema general	.....17
4.2.1. Sistema exposiciones	.....17
4.2.1.1. Aplicación de almacenamiento de hielo	.....18
4.2.2. Sistema de cuartos de control	.....23
4.2.3. Sistema de cafetería	.....24
4.3. Aplicación de controles	.....25
5. CÁLCULOS	.....28
5.1. Parámetros y consideraciones	.....28
5.1.1. Parámetros	.....28
5.1.2. Balance energético	.....29
5.2. Resultados térmicos	.....32
5.3. Análisis energético y económico	.....35

6. CONCLUSIONES	.....44
REFERENCIAS	.....46
ANEXOS	.....47
PLANO AA-01 DISTRIBUCIÓN DE AIRE PLANTA BAJA	.....47
PLANO AA-02 DISTRIBUCIÓN DE AGUA HELADA PLANTA BAJA	.....48
PLANO AA-03 DISTRIBUCIÓN DE AIRE PLANTA EXPOSICIONES	.....49
PLANO AA-04 DISTRIBUCIÓN DE AGUA HELADA PLANTA EXPOSICIONES	.....50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de cargas en un sistema típico.	.....04
Figura 2.2 Distribución de cargas en un sistema con almacenamiento de hielo.	.....04
Figura 2.3 Tanque de almacenamiento de hielo	.....07
Figura 2.4 Configuración del sistema. Ciclo de carga de tanques	.....08
Figura 2.5 Configuración del sistema. Ciclo de bypass	.....09
Figura 2.6 Configuración del sistema. Ciclo de descarga	.....09
Figura 3.1 Esquema de sistema de lazo cerrado	.....12
Figura 3.2 Esquema de sistema de lazo abierto	.....12
Figura 3.3 Esquema de elementos de control	.....13
Figura 4.1. Generación de hielo de 0 a 6 am	.....19
Figura 4.2 UGAH trabajando en solitario	.....20
Figura 4.3 Trabajo combinado UGAH- TAH	.....20
Figura 4.4. Únicamente se descongela el hielo	.....21
Figura 4.5 Arquitectura de control	.....27
Gráfica 5.1 Distribución de cargas eléctricas	.....36
Gráfica 5.2 Demanda de UGAH en las diferentes alternativas	.....37
Gráfica 5.3 Costo por concepto para cada alternativa	.....37
Gráfica 5.4 Distribución de consumo para cada alternativa en horario base	.....38
Gráfica 5.5 Distribución de consumo para cada alternativa en horario intermedio	.....39
Gráfica 5.6 Distribución de consumo para cada alternativa en horario punta	.....39
Gráfica 5.7 Distribución de demanda máxima para cada alternativa	.....40
Gráfica 5.8 Distribución de costos totales para cada alternativa	.....41

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Horario de tarifas en verano	.....05
Tabla 2.2 Horario de tarifas en invierno	.....05
Tabla 2.3 Tarifas oficiales de LFC y CFE para media tensión en mayo	.....05
Tabla 5.1 Coeficientes de transmisión	.....29
Tabla 5.2 Parámetros de diseño	.....29
Tabla 5.3 Consideraciones térmicas	.....31
Tabla 5.4 Cargas bloque	.....32
Tabla 5.5.1 Cargas térmicas por zonas	.....33
Tabla 5.5.2 Cargas térmicas por zonas	.....34
Tabla 5.6 Distribución de cargas térmicas para día de diseño	.....35
Tabla 5.7 Tarifas eléctricas de Luz y Fuerza del Centro	.....36
Tabla 5.8 Comparación de Alternativa 2 vs. Alternativa 1	.....42
Tabla 5.9 Comparación de Alternativa 2 vs. Alternativa 3	.....43

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este trabajo son:

En primer lugar se demostrará la experiencia profesional adquirida durante el último año en el que he estado trabajando como diseñador de proyectos de aire acondicionado.

En segundo lugar, se da un panorama general de la forma en la cual se diseñan proyectos de aire acondicionado y los diversos factores que se deben tomar en consideración para que se obtenga un sistema eficiente y funcional para satisfacer lo que buscan los clientes. Por otro lado, se pretende con este trabajo mencionar nuevos métodos para disminuir costos de operación y distribuir las cargas energéticas equitativamente para reducir picos.

Otro objetivo es demostrar la importancia y aplicación que tiene el uso de los sistemas de control en el aire acondicionado en la actualidad. Y su papel en la reducción del uso de energía de los sistemas electromecánicos en los edificios.

También, se demostrará mediante diferentes estudios económicos la comparación entre diferentes alternativas, su funcionamiento y la ventaja que este tipo de técnicas ofrecen para las personas que toman decisiones en el proyecto, es decir dueños e inversionistas.

Además se demostrarán los beneficios que se pueden obtener con las tecnologías descritas en este trabajo, no solo beneficia económicamente a los inversionistas de proyectos, sino que al ser sustentables, contribuyen a disminuir el impacto ambiental de manera directa e indirecta.

Por último, se pretende eliminar mitos y abrir nuevas posibilidades de diseño, demostrando que los métodos no tradicionales pueden ofrecer grandes ventajas en la industria del aire acondicionado para poder hacer más eficientes y sustentables las futuras obras de nuestro país.

1.2 Mi experiencia profesional

Para realizar un proyecto de aire acondicionado se desarrollan las siguientes tres etapas:

- Cálculos. Los realiza un calculista, y consisten en obtener los datos de entrada de los diferentes proyectos, basados en planos y datos arquitectónicos principalmente, procesarlos con programas de cálculos térmicos y entregar los resultados a los diseñadores.
- Diseño. Lo realizan los diseñadores o proyectistas. Para hacer un diseño se utilizan los resultados obtenidos de los cálculos para realizar el proyecto en sí. Esto es, selección de sistemas, como pueden ser agua helada o expansión directa; recorridos y tamaño de ductos, selección de equipos, difusores y demás accesorios, redacción de memorias descriptivas, creación de catálogos de conceptos, redacción de secuencias de operación y solución de problemas que vayan presentándose a lo largo del proyecto.

- Dibujo. El diseñador generalmente hace los dibujos a mano y un dibujante se encarga de hacer los planos en programas CAD como AUTOCAD. Utilizando esta misma herramienta se lleva a cabo la cuantificación de materiales necesarios para la construcción, los cuales se especifican en el catálogo de conceptos.

Los planos, además de los archivos impresos y en formato digital se entregan al cliente y al contratista general, quien se encarga de distribuirlos a los contratistas especializados para que estos construyan en base a los planos generados.

Una sola persona puede fungir como calculista, diseñador y dibujante o en algunas empresas se prefiere especializar a diferentes personas para realizar cada trabajo.

En mi caso inicié mi carrera en la disciplina de aire acondicionado primero como dibujante y calculista. Poco a poco me fui involucrando más en los proyectos, primero haciendo diseños sencillos, como el diseño de aire acondicionado en sucursales bancarias y restaurantes de comida rápida, los cuales están funcionando. Después tuve la oportunidad de tomar un curso de tres meses sobre fundamentos de aire acondicionado que una empresa fabricante de equipos da a sus nuevos empleados en La Crosse, Wisconsin EUA. Dicho curso me sirvió mucho para sentar bien las bases teóricas y me abrió el panorama a las últimas técnicas que se emplean actualmente para ahorro de energía.

A mi regreso comencé a calcular, diseñar y dibujar de principio a fin proyectos completos de mayor tamaño. En la actualidad cuento con la ayuda de dibujantes, que también me ayudan en algunas partes de los cálculos. En total he diseñado 6 proyectos de tamaño considerable, 2 de los cuales están ya construidos y funcionando.

En estos 2 proyectos, que fueron para oficinas de una casa de bolsa con sede en Estados Unidos y una de un banco alemán, tuve la oportunidad de estar visitando constantemente las obras para resolver problemas que surgían durante la construcción. La experiencia de estar en contacto con la obra y supervisar hasta cierto punto mis propios proyectos, me ha aportado mucho para no cometer errores y prever situaciones que pueden ocurrir durante la obra.

Es necesario mencionar que todos los proyectos están supervisados y revisados por el jefe de departamento que cuenta con muchos años en el campo.

1.3 Selección de proyecto

Se eligió el proyecto que se expone en el capítulo 3 porque presenta características y desafíos únicos, como se verá más adelante. Permite el uso de nuevas técnicas para el ahorro de energía y disminución de costos tanto iniciales como de operación en un futuro. Además de ser el de mayor tamaño en mi carrera hasta el momento.

Otra ventaja de este proyecto es que al tener una arquitectura tan vanguardista y el propósito del edificio, llaman mucho la atención y sirven como escaparate para promover las tecnologías mencionadas en los capítulos 2 y 3.

Ese tipo de tecnologías aun no son muy comunes en nuestro país, aunque en países como Estados Unidos ya han sido ampliamente aceptadas y utilizadas, lo que se refleja en la confiabilidad de los sistemas. Es por esto que se está tratando de promover en nuestro país con trabajos como este que contribuyen a dar un enfoque nuevo y diferente de soluciones para los futuros proyectos de nuestro país.

Es importante mencionar que todos los cálculos y resultados térmicos principalmente se presentan en unidades inglesas. Esto se debe a que la gran mayoría de los fabricantes de equipos son norteamericanos. Además, son los pioneros en el desarrollo de las teorías de aire acondicionado. Es por esto que, desafortunadamente, la gran mayoría de empresas ya sean consultoras o contratistas utilizan las unidades inglesas y no el que sería más conveniente sistema internacional.

Por otro lado, la unidad más empleada en los sistemas de aire acondicionado es la tonelada de refrigeración (TR) la cual se define como un flujo de calor de 211kJ/min o 12 000 Btu/ hr, transferido desde la región fría (o flujo de calor que pasa al fluido que circula por el evaporador). [11]

1.4 Estructura del trabajo

En el primer capítulo se menciona la teoría y se explica el funcionamiento conceptual del almacenamiento de hielo como método de distribución de cargas para reducción de picos energéticos y uso de la energía con tarifas más económicas.

Dentro del segundo capítulo, se presenta un panorama general de los controles, los diferentes tipos que existen, la aplicación de estos en los sistemas de aire acondicionado, las nuevas tecnologías de comunicación entre sistemas eléctricos, de iluminación, hidráulicos, contra incendio, seguridad y aire acondicionado. Y las ventajas que se tienen al controlar todos estos sistemas por medio de una computadora, ya sea en el sitio o a distancia utilizando la Internet.

Una vez contando con el panorama general de las tecnologías que se van a emplear, se presenta el proyecto objeto de este trabajo. Para esto es importante entender también, los diferentes retos que se tuvieron que superar y las razones por las cuales se tomaron las decisiones para resolver dichos retos. Se presentan las maneras en que se aplicaron las técnicas mostradas de los capítulos 1 y 2.

En el último capítulo se presentan los parámetros empleados para los cálculos térmicos, las normas y métodos en los cuales se basan los cálculos. Después se presentan los resultados obtenidos por medio del programa especializado para comprender mejor los datos en los que se basaron las selecciones de los equipos y la distribución que se tendrá dentro del inmueble.

Una vez conocidos los detalles térmicos se muestran los datos y el análisis económico. Con éstos se justificará el uso de las energías y se demostrarán las grandes ventajas económicas que ofrece el uso de éstas nuevas tecnologías para los dueños, accionistas y el medio ambiente ya sea a corto y a largo plazo.

Por último, con base en los resultados, datos, experiencias y teorías mostradas en este trabajo se exponen las conclusiones.

2 ALMACENAMIENTO DE HIELO

2.1 Definición

El objetivo de almacenar energía térmica en un medio es generarla cuando se tienen bajos costos de producción para después emplearla en un tiempo diferente. Al diferir la carga se disminuye la demanda energética, costos de instalación y de energía.

Se utiliza en proyectos que cumplan con los siguientes requisitos: se tenga una planta central generadora de agua helada, se cuente con suficiente tiempo de almacenamiento y la carga térmica supere las 100 toneladas de refrigeración (TR). [4.1].

La finalidad primordial de utilizar este sistema es reducir costos de operación y eléctricos, cambiando la operación de la unidad generadora de agua helada (UGAH) en tiempos de alta demanda eléctrica a tiempos en donde la electricidad es de bajo costo, como se muestra en la comparación de las figuras 2.1 y 2.2.

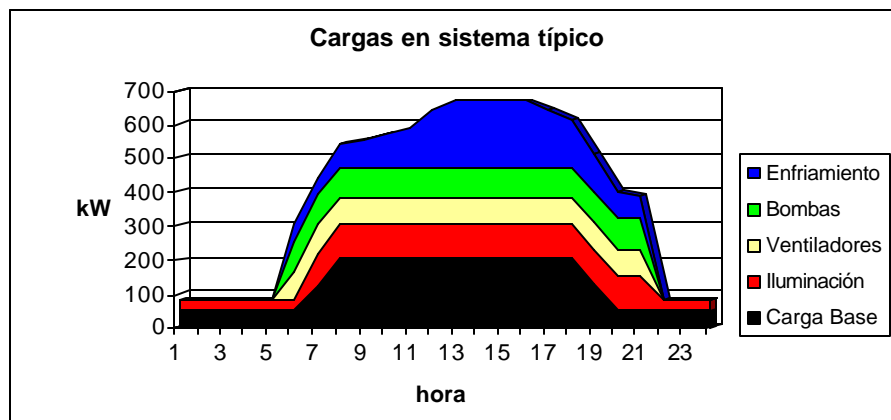


Fig. 2.1 Distribución de cargas en un sistema típico.

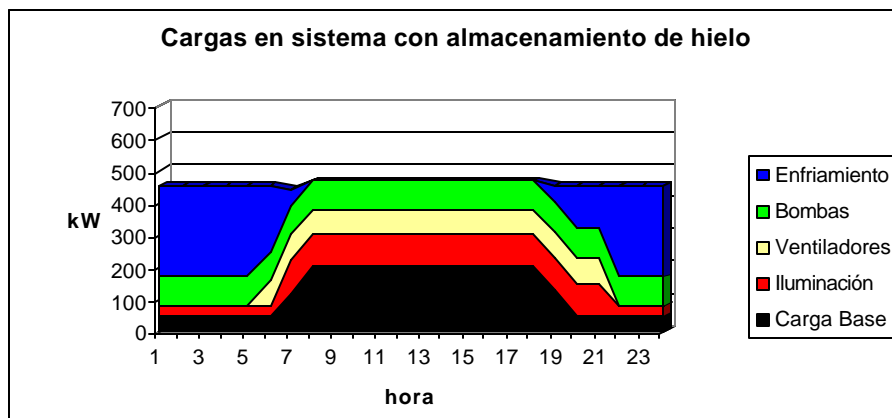


Fig. 2.2 Distribución de cargas en un sistema con almacenamiento de hielo.

En ciertas horas del día, cuando la mayoría de los usuarios necesita de energía eléctrica, se tienen picos o puntas de demanda para los cuales CFE (Comisión Federal de Electricidad) y LFC (Luz y Fuerza del Centro) deben tener la suficiente capacidad instalada. Estos picos ocurren solo durante algunas horas al día. Para tratar que estos picos no sean elevados y uniformar la carga eléctrica a lo largo del día. La compañía de luz ha establecido diferentes cuotas cuando la demanda de potencia es mayor a 100 kW y se suministra la energía a media tensión, es decir 440 volts, a esta tarifa se le conoce como H-M. El horario establecido para esta tarifa se muestra en las tablas 2.1 y 2.2.

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 – 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
Sábado	0:00 – 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 – 19:00	19:00 - 24:00	

Tabla 2.1 Horario de tarifas en verano. [6]

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Tabla 2.2 Horario de tarifas en invierno. [6]

En la tabla 2.3 aparecen las cuotas de la tarifa HM a media tensión que se aplicaron durante el mes de mayo de 2007 en las diferentes zonas del país. En esta se observa la gran diferencia de precios entre cada una de las tarifas. Es por esto que la reducción en costos es significativa cuando no se utiliza energía en la hora punta.

Región	Demanda \$/ kW	Consumo Punta \$/ kW/hr	Consumo Intermedia \$/ kW/hr	Consumo Base \$/ kW/hr
Baja California	\$ 178.92	\$ 2.4452	\$ 0.6767	\$ 0.5317
Baja California Sur	\$ 171.96	\$ 1.9619	\$ 0.9392	\$ 0.6648
Central	\$ 124.02	\$ 2.3436	\$ 0.7496	\$ 0.6263
Noreste	\$ 114.04	\$ 2.1646	\$ 0.6959	\$ 0.5702
Noroeste	\$ 116.45	\$ 2.1772	\$ 0.6907	\$ 0.5788
Norte	\$ 114.58	\$ 2.1802	\$ 0.7027	\$ 0.5718
Peninsular	\$ 128.14	\$ 2.2928	\$ 0.7041	\$ 0.5800
Sur	\$ 124.02	\$ 2.2952	\$ 0.7165	\$ 0.5958

Tabla 2.3 Tarifas oficiales de LFC y CFE para media tensión en mayo. [6]

2.2 Beneficios

Algunos de los beneficios que se pueden obtener con un sistema de almacenamiento de hielo son:

Para el dueño:

- Se reducen costos de acondicionamiento al defasar la carga pico hacia horarios de cargas eléctricas fuera de pico.
- Se disminuyen los costos de operación al utilizar una unidad generadora de agua helada (UGAH) de un menor tamaño que con un sistema convencional.
- La humedad relativa dentro del edificio es menor, lo que aumenta las condiciones de confort.
- Se puede incluir en un sistema existente para aumentar la capacidad de enfriamiento a menor costo de instalación.

Hacia el ambiente y la sociedad:

- Al disminuir los equipos generadores de agua helada, se disminuye la cantidad de refrigerante necesaria en el sistema.
- Se disminuye la necesidad de construir nuevas plantas eléctricas para cubrir la carga pico.
- Al reducir los picos energéticos CFE distribuye mejor la carga trabajando

Para la CFE:

- Disminuye la demanda eléctrica en horas pico, permitiendo que las plantas trabajen con la capacidad en que la eficiencia es máxima.
- Se trabaja menos tiempo con plantas diseñadas para cubrir los picos energéticos. [4]

2.3 Elementos y funcionamiento del sistema

Los elementos necesarios en un sistema en el que se genere hielo son los siguientes:

- Fluido caloportador: para generar hielo se utiliza una mezcla de agua y un elemento anticongelante como etilenglicol, que es el más utilizado, aunque en ocasiones se utiliza el propilenglicol. Se debe tomar en cuenta que el anticongelante es más denso y viscoso que el agua, lo que aumenta la potencia necesaria en las bombas, y además no es tan bueno en cuanto a transferencia de calor se refiere. Sin embargo utilizándolo en bajas cantidades se corre el riesgo de que el fluido enfriador también se congele mientras se produce hielo. Por tanto, generalmente la relación que se utiliza es de 25% anticongelante y 75% agua. En un fluido con dicha concentración se tiene una conducción térmica de 0.512 [W/mK] ($0.283 \text{ [Btu/hr ft } ^\circ\text{F]}$) mientras que la del agua es de 0.621 [W/mK] ($0.329 \text{ [Btu/hr ft } ^\circ\text{F]}$). Ambos datos se obtuvieron tomando en cuenta una temperatura de 0°C (32°F).
- Tanque de Almacenamiento: funciona de manera semejante a un intercambiador de calor tipo tubo y coraza. Dentro de los tubos, generalmente de plástico por su flexibilidad y propiedades térmicas, circula la mezcla agua-glicol y en el lado de la coraza se tiene agua,

la cual se congela ya que la temperatura de la mezcla que circula por los tubos es menor que de la de solidificación del agua [8]. Ver figura 2.3.



Fig. 2.3 Tanque de almacenamiento de hielo. [4.1]

- Unidad Generadora de Agua Helada (UGAH): puede ser la misma que se utiliza para enfriar el edificio en horario normal, lo que reduce costos de instalación. Sin embargo se puede tener una UGAH específicamente para generar hielo, sobretodo en instalaciones de gran tamaño. Lo único que se necesita para que una UGAH produzca hielo es un controlador con esta capacidad.

Mientras se genera hielo, la unidad trabaja a su máxima capacidad, lo que incrementa su eficiencia, aunque al trabajar a temperaturas menores se incrementa la diferencia de presión, lo que aumenta el trabajo del compresor. Sin embargo, lo anterior se compensa un poco al trabajar durante la noche, que es cuando generalmente se produce el hielo, ya que la temperatura exterior es menor. En la práctica se estima que una unidad trabaja a un 65% de eficiencia total mientras genera hielo.

- Intercambiador de calor: cuando se tiene un edificio muy grande es preferible que la mezcla agua-anticongelante solo pase por los tanques de almacenamiento y las UGAH, pero no por las unidades manejadoras y demás evaporadoras del sistema ya que el anticongelante disminuye la transferencia de calor en los serpentines y aumenta el trabajo de las bombas como ya se mencionó. En este caso se necesita un intercambiador de calor que separa el sistema primario con fluido agua-anticongelante del secundario por donde circula solo agua.
- Válvulas de 3 vías: por lo menos se deben utilizar 2 válvulas de 3 vías con control automático, aunque dependiendo de cada aplicación se pueden necesitar otras válvulas.
 - La primera deberá ser del tipo On / Off. Esta válvula sirve para elegir el circuito por el cual pasará el fluido caloportador y hacer un bypass hacia la carga.
 - La otra válvula cuenta con un control proporcional, es decir, se puede regular a conveniencia la apertura de la válvula. Sirve para mandar la cantidad de fluido caloportador suficiente hacia los tanques de almacenamiento de hielo, según lo requerido por la carga térmica del edificio.

Para ilustrar el funcionamiento de un sistema tomaremos de ejemplo el sistema más sencillo empleado para almacenar hielo. Éste consta de 2 circuitos de agua helada, en el primero se encuentra la planta generadora de agua helada, es decir las unidades generadoras de agua helada, las bombas y los tanques de almacén de hielo. En el segundo circuito se encuentran todas las manejadoras de aire que se representan como la carga térmica del edificio. Ambos circuitos se separan utilizando la válvula de 3 vías con control On/Off. Por último, es necesario emplear la otra válvula de 3 vías con control proporcional activado por un sensor de temperatura para controlar la cantidad de flujo que pasa por los tanques cuando se esté descongelando el hielo. [8].

La operación del sistema se muestra a continuación:

1. Ciclo de carga de tanques. Durante la generación de hielo la válvula de 3 vías con control automático On / Off, cierra el segundo circuito permitiendo solo flujo dentro del primer circuito. Mientras que la segunda válvula con control proporcional, abre al máximo, permitiendo que la mezcla agua-anticongelante circule con una temperatura aproximada de 25° F (-5°C), (esta temperatura depende de la aplicación) a través de los tanques de almacén, congelando el agua que se encuentra dentro de estos [4], como se muestra en la figura 2.4.

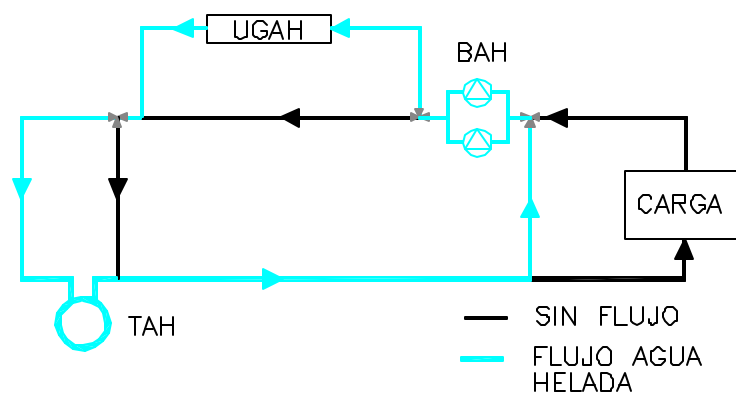


Fig. 2.4 Configuración del sistema. Ciclo de carga de tanques.

Donde la UGAH es unidad generadora de agua helada, TAH es tanque de almacén de hielo y BAH es bomba de agua helada.

2. Ciclo de bypass. Cuando la carga no es muy elevada y aún se puede contrarrestar utilizando sólo las unidades generadoras de agua, la primera válvula de 3 vías abre permitiendo el flujo hacia las unidades manejadoras de aire ubicadas dentro del edificio. Al mismo tiempo se cierra la segunda válvula evitando que el flujo de mezcla pase por los tanques de hielo. Mostrado en la figura 2.5. [4]

de hielo y además, la cantidad y el espacio utilizado por los tanques es grande, lo que aumenta el costo inicial en la mayoría de los casos.

Este sistema se emplea para reducir el consumo energético (en kWh) ya que siempre funciona en horarios fuera de pico. Sin embargo, no ayuda a reducir los costos por demanda de energía (en kW). Por lo que se recomienda para situaciones en donde se tenga mucho espacio y la diferencia entre las tarifas de consumo energético sea muy grande y una tarifa de demanda relativamente baja.

- Almacenamiento parcial: en este caso, durante los días en que suceda la carga máxima, las UGAH se encargarán de parte de la carga y para el resto se descongelará el hielo. Durante el resto del año, donde se tenga una carga pequeña puede ser que el sistema tenga suficiente capacidad de hielo para superar la carga de todo el día o utilizar a la UGAH en el punto de máxima eficiencia.

La capacidad de hielo depende del capital inicial, espacio o en algunos casos, está limitada por la cantidad máxima de servicio eléctrico otorgada por la Compañía de Luz. Una de las proporciones más usuales en nuestro país es utilizar 80% de capacidad instalada en UGAH y el otro 20% en hielo, aunque como mencionamos anteriormente, dicha proporción puede variar y depende de muchos factores.

El diseñador debe realizar diferentes análisis económicos y de carga para obtener el modelo que sea más conveniente desde el punto de vista económico y práctico. Para esto existen diferentes herramientas de software para análisis energéticos para cada hora durante todo el año.

3 CONTROLES Y SECUENCIA DE OPERACIÓN

3.1 Aspectos generales

El campo en el que más se ha avanzado en los últimos años en la industria del aire acondicionado, es el campo de control. La tecnología en este ámbito ha evolucionado a través de los años, desde los sistemas neumáticos utilizados en un principio hasta los controles basados en microprocesadores utilizados en la actualidad, pasando por los controles eléctricos analógicos.

Algunas de las ventajas que presentan los controles actuales con tecnología basada en microprocesadores son:

- Utilizan programas de software en lugar de dispositivos electrónicos lo que los hace más flexibles.
- Se pueden programar rutinas de control más complicadas y extensas.
- Se tiene un control más preciso que con los otros 2 sistemas.
- Permiten la comunicación entre elementos del sistema ya sea entre equipos o entre varios sistemas. [7].
- Ayudan a tener registradas las horas de uso y operación de los dispositivos involucrados, de tal forma que permite programar mantenimientos preventivos y no correctivos ya que estos últimos son por lo regular muy costosos. En esta base de datos se acumula la información completa del desempeño y a su vez se ve reflejada la eficiencia y desempeño de los equipos y sistemas.

Por otro lado, el tener una comunicación por medio de datos en lugar de señales eléctricas, permite a la personas de mantenimiento inspeccionar y controlar todos los elementos a distancia por medio de herramientas como el Internet. [7].

El uso apropiado de estos controles asegura que un buen diseño de aire acondicionado mantenga un ambiente confortable, mientras opera económica y eficientemente dentro de un amplio rango de condiciones de operación. [7].

En general un control automático puede:

- Satisfacer las demandas de confort en todo momento
- Minimizar el consumo de energía del sistema
- Trabajar en conjunto con otros sistemas del edificio, como por ejemplo el de la iluminación.

La mayoría de los diseños con sistemas modernos y con enfoques sustentables dependen en gran medida de un sistema central de control. Éste permite una comunicación mutua y permanente entre todos los elementos que componen un sistema de aire acondicionado.

3.2 Tipos de control

Existen 2 tipos de sistemas de control: los de lazo cerrado y los de lazo abierto.

Los sistemas de lazo cerrado o retroalimentados, mantienen una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. En este tipo de sistemas se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. En este sistema siempre se aplica una acción de control para reducir el error del sistema. El sistema de lazo cerrado se representa mediante un diagrama de bloques en la figura 3.1, que se muestra a continuación: [10].

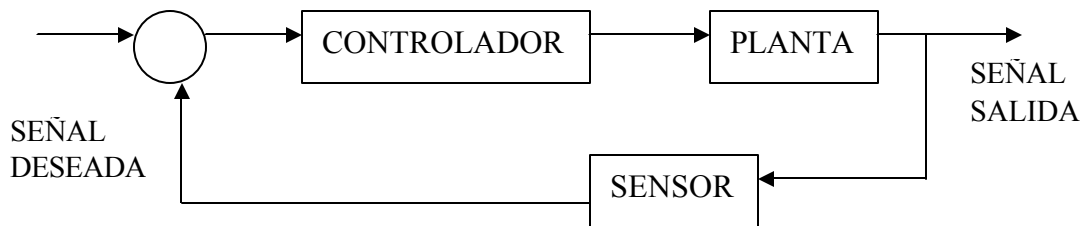


Fig. 3.1 Esquema de sistema de lazo cerrado.

Los sistemas de lazo abierto son aquellos en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Es decir que no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija. Es por esto que la precisión del sistema depende de la calibración. Otra característica es que ante la presencia de perturbaciones, un sistema de lazo abierto no realiza la tarea deseada. Se representa en la figura 3.2: [10].

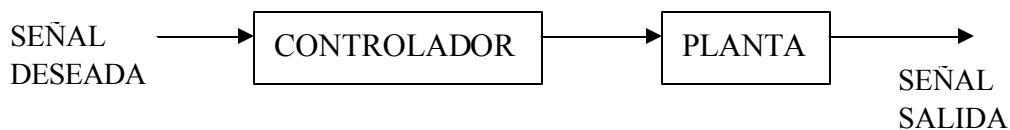


Fig. 3.2 Esquema de sistema de lazo abierto.

En el caso de control de sistemas de aire acondicionado, es conveniente utilizar controles de lazo cerrado, ya que se presentan perturbaciones o variaciones impredecibles en las temperaturas interiores y exteriores del edificio, efectos que no pueden ser controlados con los sistemas de lazo abierto. [10].

3.3 Elementos de control

Las partes más elementales que componen un sistema de lazo cerrado son las siguientes:

- Variable controlada: es el parámetro que se desea controlar, por lo que es necesario medirla.
- Sensor: mide la condición de la variable controlada y manda una señal de entrada al controlador.

- Controlador: es el cerebro del sistema. Compara la señal de entrada enviada por el sensor, con la condición deseada, especificada desde un principio. En caso de ser diferente envía una señal correctiva de salida al dispositivo controlado.
- Dispositivo controlado: reacciona al recibir la señal de salida del controlador y toma acciones que modifican al agente controlado.
- Agente o variable controlado: es el medio que se manipula por el dispositivo controlado.

En la figura 3.3 se muestra el diagrama de bloques donde se muestran las partes que componen un sistema de lazo cerrado.

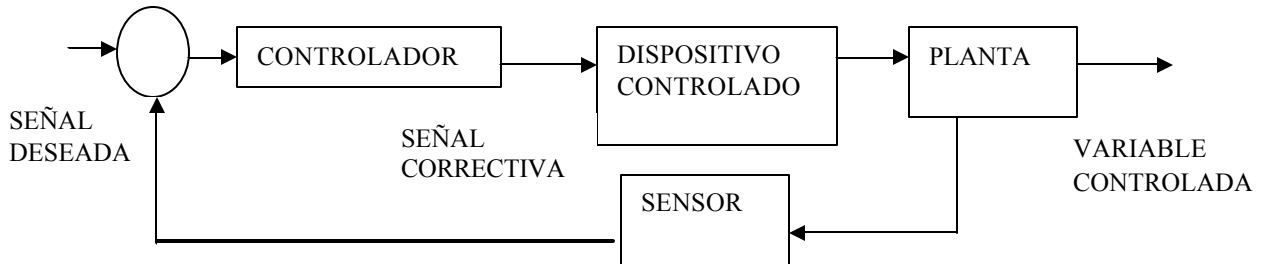


Fig. 3.3 Esquema de elementos de control.

En un mismo sistema se pueden tener muchas variables de control, sensores, dispositivos controlados, agentes controlados y hasta controladores. Es claro que entre más variables se controlen mayor será el confort en un cierto espacio. [8].

3.4 Sistemas de control de edificios

En la actualidad en los edificios se tienen controladores muy sofisticados que son capaces de controlar todos los componentes de los sistemas electromecánicos. Para esto es necesario tener controladores a diferentes niveles, como se describe en seguida:

- Control a nivel de unidades: son los más básicos y funcionan como un sistema de lazo cerrado, se tienen uno o varios sensores, como termostatos, sensores de presión, sensores de flujo, etc. que miden una o varias variables de control, todas estas señales entran en un controlador montado en cada unidad, como por ejemplo una manejadora de aire o una unidad generadora de agua helada. Dicho controlador compara estas variables con las deseadas y manda la señal correctora al dispositivo controlado, como puede ser el variador de frecuencia de la misma unidad manejadora o a los compresores de la UGAH. [7].
- Control a nivel de sistemas: en este caso se trata de un controlador que regula a los controladores de las unidades. Es decir, en una construcción se tienen varios equipos y cada unidad cuenta con su propio controlador que funciona independiente de las demás. Para que todos los equipos funcionen inteligente y coordinadamente como un solo sistema, es necesario implementar un cerebro mayor que tenga comunicación constante con todos los equipos del sistema. El controlador central tiene la característica de que se puede programar según se requiera, dependiendo de la aplicación en que se utilice. Sin embargo, también es capaz de controlar dispositivos y no solo a otros controladores. [7].

- Control a nivel de edificio: generalmente se trata de una computadora la cual se comunica con todos los controladores de sistemas. Este nivel se utiliza principalmente para automatizar totalmente el edificio y para responder rápida y eficientemente a cualquier circunstancia desde un solo lugar ya sea dentro o fuera del edificio.

Existen diferentes interfaces amigables al usuario que permiten revisar el desempeño y estado de cada uno de los componentes del sistema, lo que ayuda a programar mantenimientos preventivos para reducir costos. También sirven para detectar fallas, ya que crean un registro del funcionamiento de cada equipo y reciben alarmas en el momento en que se presenta una falla en el sistema y son capaces de enviar un correo o mensaje a la persona indicada. [7].

3.5 Protocolos de comunicación

Por lo general, lo ideal es que todos los controladores de todos los niveles sean de una misma marca, ya que cada fabricante tiene su propio protocolo de comunicación, para que todos los dispositivos de control puedan enviar y recibir información sin problemas.

Sin embargo, esto no es posible cuando se modifican algunos proyectos que ya contaban con algunos controladores y se planea instalar nuevos de otras marcas, o cuando instalar todo de una sola marca sea más costoso. Para evitar problemas de comunicación se han creado diferentes protocolos de comunicación abiertos, es decir que no son propios de un fabricante. En el caso de aire acondicionado los protocolos más utilizados son:

- BACnet (Building Automation Control Network) creado por ASHRAE, tiene la ventaja de que también puede ser compatible con sistemas de iluminación, seguridad y sistemas de protección contra incendios. BACnet trabaja muy bien para comunicar controles a nivel de sistema, permitiendo el intercambio de información entre sistemas como los antes mencionados. [7].
- LonTalk aunque se desarrolló por una empresa particular, se ha adoptado como protocolo abierto y se ha creado una Asociación de Interoperabilidad llamada LonMark. Al igual que BACnet también es compatible con otros sistemas. En general se utiliza más para control a nivel de unidades. [7].
- MODBUS es otro protocolo, creado por “Modicon”, principalmente se utiliza en controles de dispositivos tales como variadores de frecuencia, generadores eléctricos, etc. Sin embargo, como fue creado por una empresa particular no se utiliza tanto como protocolo estándar, aunque es muy utilizado en varias aplicaciones. [7].

3.6 Secuencia de operación

La secuencia de operación es el instrumento del diseñador para comunicar a las personas de mantenimiento, de instalación, y a los fabricantes de controles, cómo se desea que funcione el sistema en conjunto para cumplir con las expectativas del dueño.

Es importante que se especifique de manera detallada cada uno de los pasos que debe realizar cada componente del sistema, de manera que una vez que éste funcione, el operador sepa cómo trabaja el sistema y se asegure que así sea y en caso de algún percance tomar las medidas pertinentes, esto asegura la máxima eficiencia del sistema.

La secuencia de operación debe realizarla el diseñador, con el apoyo de algún especialista en control por parte del fabricante de los equipos que se van a instalar. Esto ayuda a que desde un principio se especifiquen todos los componentes, accesorios, controladores, sensores, dispositivos de control, etc. necesarios para que el sistema funcione como se requiere. Además, se asegura que los controladores sean capaces de realizar todas las acciones necesarias para cada circunstancia específica.

Por otro lado es en base a la secuencia de operación que los fabricantes pueden programar los diferentes controladores para que estos funcionen de manera particular, cumpliendo con los requerimientos de cada proyecto.

4 EJEMPLO DE APLICACIÓN

4.1 Planteamiento del problema

Para ejemplificar el uso de los sistemas de agua helada y los tipos de controles, se utilizará un proyecto en particular.

El proyecto es el Museo Nacional de la Piel y el Calzado, que será creado por el gobierno del estado de Guanajuato en la ciudad de León. El tema principal del museo son los diferentes procesos a los que se somete la piel para poder utilizarla en artículos de vestido y calzado.

La propuesta es un museo interactivo donde se tendrán diferentes actividades como pasarelas, muestras fotográficas, exposiciones temporales, exposiciones multimedia, entre otras. En un museo como este es de vital importancia tener una infraestructura flexible para poder modificar la museografía constantemente.

El edificio está compuesto por 3 plantas:

- Planta baja: contiene las oficinas del museo, un auditorio, salones de usos múltiples, talleres museográficos, cuartos eléctricos, un cuarto de control y sistemas, cafetería y un área abierta para exposiciones. Se encuentra enterrada en un nivel inferior al de la calle. Es por esto que la tierra circundante ayuda como aislamiento térmico del área.

Como parte de la arquitectura se tienen algunos círculos tragaluces distribuidos al azar.

- Vestíbulo: se trata de un área abierta a nivel de la calle, sin paredes y que puede ser utilizado para eventos especiales, exposiciones y pasarelas. Esta área no se va a acondicionar.
- Planta alta: en ella se tendrán las exposiciones permanentes. La disposición y forma de éstas pueden cambiar varias veces en un año. La mayoría de las exposiciones tendrán elementos multimedia interactivos. Cada exposición puede estar formada de hasta 20 pantallas.

Todas las fachadas en esta planta son de vidrio. Aunque se colocarán películas de protección contra la radiación solar para disminuir la carga térmica, la transferencia de calor por convección es considerable.

Por otro lado, para controlar todas las exposiciones multimedia de esta planta se tendrá un cuarto de control arriba de los baños.

En esta área no habrá plafón de ningún tipo, todas las instalaciones serán aparentes, por lo que deben ser muy limpias.

La estructura del edificio es completamente de acero, soportada con 4 conos de dicho material. Para soportar la losa de cada nivel se tiene una estructura cuadrículada con cuadros de 3 x 3 m. La base de la estructura son triángulos de carga.

Los planos se incluyen dentro de los anexos.

El diseño arquitectónico estuvo a cargo de TEN Arquitectos y los proyectos de ingenierías electromecánicas se realizaron por AKF México.

4.2 Sistema general

En base a los requerimientos iniciales, se decidió tener 3 sistemas independientes: el sistema general, que se encargará de acondicionar todas las áreas de exposiciones, oficinas, auditorio y salones de usos múltiples; un sistema independiente para los cuartos de control y un último para la cafetería.

En cuanto a la parte de aire en todos los sistemas, se decidió instalar varias manejadoras que se pudieran colocar embebidas dentro la estructura y por las que pasen los ductos entre los triángulos de carga de la misma. Para estos pasos la figura geométrica más conveniente es el círculo. Además, los ductos de sección circular tienen la ventaja de son más estéticos para casos en donde no se coloca plafón como el caso de la planta de exposiciones.

Las unidades manejadoras de aire trabajan a volumen de aire constante y temperatura variable. Mediante las redes de ductos se distribuirá el aire acondicionado de manera uniforme a todos los espacios en donde éste se requiera.

Para regular la temperatura de inyección de aire de cada manejadora se controlará el flujo del agua helada al serpentín por medio de una válvula de 3 vías. Los termostatos se encargan de mandar una señal al controlador, y éste a su vez regula la posición de la válvula.

Para evitar que el aire dentro del museo alcance niveles dañinos de concentraciones de CO₂ y otros gases nocivos para el ser humano (se vicia el aire), se colocaron ventiladores de inyección de aire exterior con camas de filtros para mantener una buena calidad de aire en el interior del museo. El aire exterior se inyectará a la cámara plena cerca de las manejadoras, de manera que estas obtengan el suficiente aire y lo suministren al espacio.

4.2.1 Sistema de exposiciones

Este es el sistema más grande y por tanto el que más energía utiliza.

Algunos elementos particulares de este sistema en cuanto a la parte de aire son:

- Para la planta de exposiciones se tendrán rejillas de inyección con deflectores los cuales se pueden modificar según lo exija la museografía.

Otra ventaja de las rejillas sobre los difusores de inyección en dicha planta, es que tienen un tiro de aire mayor, esto permite enviar el aire a mayor distancia, alcanzando lugares

donde no se pueden colocar ductos. Este es el caso de la esquina suroeste, a la entrada de la planta, ya que no se puede llegar con un ducto a este lugar porque el cono estructural no lo permite.

- Para poder tener un acondicionamiento flexible en las salas de exposiciones se emplearán termostatos inalámbricos, de manera que se puedan reacomodar fácilmente.

Por otro lado, para disminuir el ruido generado por las manejadoras que se encuentran en la planta de exposiciones se colocarán recubrimientos acústicos fabricados en sitio alrededor de todas las manejadoras y ventiladores que se encuentren en dicho nivel. Dichos recubrimientos están hechos con triplay y aislamiento térmico y acústico.

4.2.1.1 Aplicación de almacenamiento de hielo

Para este caso, el sistema de exposiciones cumple con las 3 condiciones para implementar el hielo ya que tiene una carga superior a las 100 TR, se tiene una planta central de agua helada y se tiene suficiente espacio para colocar cierta cantidad de tanques de hielo enterrados bajo el estacionamiento.

Diseñar un sistema que emplee almacenamiento de hielo no es fácil y consume mucho tiempo, especialmente cuando se pretende reducir al máximo los costos eléctricos. Para este proyecto se siguieron los siguientes pasos:

- Primero se propusieron diferentes relaciones de carga máxima en hielo contra UGAH, estas fueron: capacidad de carga total en hielo, 50% en hielo y 50% en UGAH, 70% en UGAH y 30% en hielo. El 100% se refiere a la carga bloque máxima del edificio. Para cada una de estas se calculó aproximadamente la cantidad de tanques necesarios utilizando un software especializado. Se presentaron las diferentes propuestas ante los arquitectos y se llegó a la conclusión que solo existía espacio para la última opción. Una vez que se sabe el espacio con el que se cuenta, se tuvo una nueva propuesta de 80% en UGAH y 20% en hielo para saber cuál sería más económica a largo plazo. Se hicieron estudios económicos para ambas propuestas, basados en costos de equipos preliminares, los cuales aparecen en el siguiente capítulo. Es importante mencionar que para ambas propuestas se debe tener la misma cantidad de tanques de hielo, debido al flujo de mezcla exigido por estos. Gracias a estos estudios se llegó a la conclusión de que la mejor opción es la de 70% en UGAH y 30% en hielo.
- Una vez que se han elegido las capacidades de cada equipo se procede a detallar las selecciones utilizando programas de selección de los fabricantes, asegurándose que se tendrá la capacidad instalada suficiente para superar la carga máxima que se presenta en el edificio, para las condiciones particulares del proyecto como altitud, temperaturas exteriores, humedad, entre otras.
- A continuación se realiza un horario de trabajo para saber cuándo las UGAH generarán hielo, cuándo trabajaran solas, y en qué momentos se utilizará conjuntamente el hielo y la UGAH y cuándo se utilizará únicamente hielo para máximo ahorro de energía. Esto se

puede lograr gracias a la simulación de cargas térmicas para cada hora del año que nos otorga el programa de software especializado.

- Una vez definido el horario para la carga máxima, se debe pensar cómo va a funcionar el sistema el resto del año, definir por ejemplo, si cuando no se tenga mucha carga se utilizará el hielo para todo el día, o si se dejará algo de hielo al final del día, para tratar de reducir aún más los gastos eléctricos. Para decidir esto, se ve cuál es el costo más alto de la tarifa eléctrica, si la demanda (kW) o el consumo (kWh). En este caso se decidió utilizar la mayor cantidad de hielo y trabajar lo menos posible las UGAH durante el día. Se llegó a esta decisión gracias a los estudios económicos mostrados en el siguiente capítulo.

Dado a que este no es un sistema de tamaño demasiado grande, es posible hacer circular la mezcla agua-glicol por todos los equipos sin necesidad de utilizar un intercambiador de calor y tener otro circuito con agua.

A continuación se describe el funcionamiento de los equipos durante todo el año:

- Durante la noche, de las 0:00 horas a las 6:00am horario en que las tarifas eléctricas son menores, la válvula de 3 vías con actuador On/Off se cerrará permitiendo que el flujo de la mezcla agua-glicol vaya de la UGAH-01 a los tanques de almacenamiento y de regreso a la UGAH-01 sin recorrer todo el sistema. En este modo las temperaturas de trabajo son menores a las del punto de fusión del agua. Con esto el agua que se encuentra dentro de los tanques se congelará. Lo anterior se muestra en la figura 4.1.

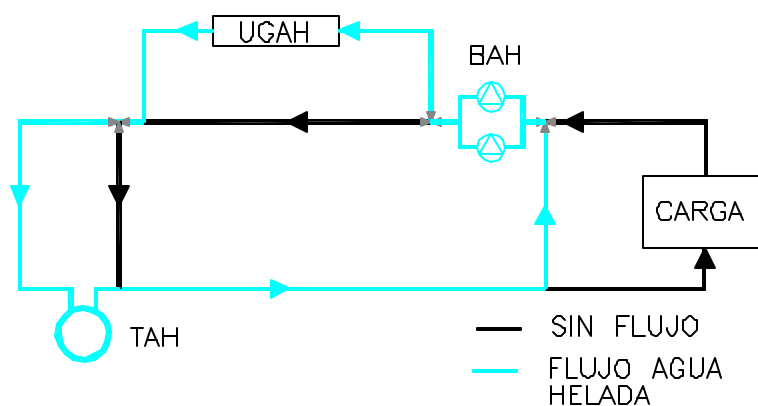


Fig. 4.1. Generación de hielo de 0 a 6 am

- Cuando comience el horario de trabajo del museo, la válvula de 3 vías On/Off anterior abrirá permitiendo que la mezcla de trabajo vaya de la UGAH-01 al sistema conforme se requiera. En estos momentos la carga térmica se abatirá únicamente con la UGAH-01. Tal como se muestra en la figura 4.2.

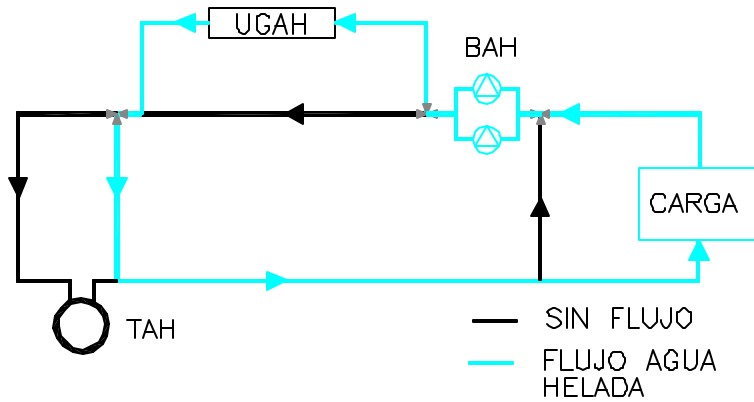


Fig. 4.2 UGAH trabajando en solitario.

- Sin embargo, llegará un momento en que la carga térmica del edificio será mayor a la capacidad de la UGAH-01; en este momento la otra válvula de 3 vías con actuador proporcional permitirá que la cantidad suficiente de flujo pase por los tanques de almacenamiento de hielo: con esto la mezcla se enfriará, al derretir el hielo, lo suficiente como para mantener las temperaturas de diseño en el resto de los equipos. Lo anterior se muestra en la figura 4.3.

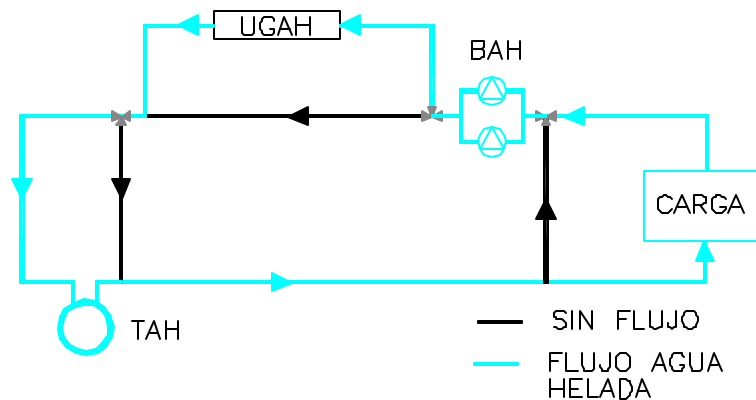


Fig. 4.3 Trabajo combinado UGAH- TAH.

- Durante el verano cuando se tenga la carga máxima de diseño en el edificio la cantidad de hielo será justa para superar la carga térmica del edificio. Sin embargo, durante la mayor parte del año se tendrá mayor cantidad de hielo que el necesario. De lo anterior se derivan 2 casos según las tarifas de CFE:
 - Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre. Según la cantidad de hielo restante, se descongelará el restante durante las últimas horas de trabajo dependiendo de los horarios del museo y se apagará la UGAH-01. Como se aprecia en la figura 4.4.

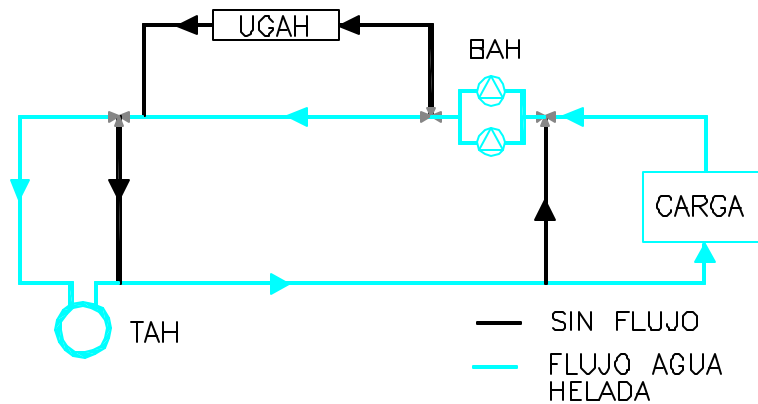


Fig. 4.4. Únicamente se descongela el hielo.

- Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril. La UGAH-01 trabajara al 75% de su capacidad como máximo durante esta época para disminuir desgaste de compresores y aumentar su eficiencia. Y para reducir más los costos, el hielo se encargará de la carga total a partir de las 18:00 horas ya que se inicia la hora pico.

La mezcla de dicho sistema será impulsada por una bomba, teniendo otra como redundancia.

Por otro lado, se necesita una tubería de bypass a la UGAH, ya que el flujo de agua del sistema es mayor al flujo nominal de la UGAH porque esta es de menor tamaño, por tanto solo se debe circular la cantidad de mezcla agua-glicol especificado por el fabricante, para que la UGAH trabaje como se desea.

Una vez realizado el diseño del sistema se genera la secuencia de operación para cada equipo, la cual se muestra a continuación:

- Unidad Generadora de Agua Helada (UGAH-01). Tiene 2 modos de operación:

Modo de generación de hielo: las temperaturas promedio de trabajo son: 30°F (-1.11°C) entrada y 23°F (-5°C) salida. Trabaja de 0 a 6 hrs.

Modo de trabajo normal: las temperaturas de trabajo son: 56°F (13.6°C) entrada y 42°F (5.6°C) salida. Las horas de trabajo en este modo dependen de la época del año siendo de la siguiente manera:

- Del primer domingo de abril al último domingo de octubre, trabajará desde la apertura del museo hasta el cierre del mismo. En caso de que una hora antes del cierre quede la capacidad equivalente a un tanque de hielo o más, se apagará la UGAH una hora antes del cierre.

- Del último domingo de octubre al primer domingo de abril, comenzará a trabajar desde la apertura del museo hasta las 18 hrs. Durante toda esta época la UGAH trabajará a un máximo de 75% de su capacidad total. Durante este periodo se ciclarán los compresores para tener un desgaste reducido compartido entre ellos.

Todas las alarmas del equipo se registrarán en el sistema de control central para que el supervisor pueda tomar las medidas necesarias. [3].

- Bombas de Agua Helada (BAH-01):

El panel central de control se encargará de alternarlas para que tengan un desgaste equivalente y siempre haya una en funcionamiento en caso de algún percance. Además, se encargará de calendarizar las operaciones de las mismas conforme al calendario de mantenimiento preventivo. [3].

- Válvula de 3 Vías On Off:

Se encarga de cerrar el circuito dentro del cuarto de máquinas y evitar que el agua-glicol circule hacia las manejadoras. De 0 a 6 hrs cerrará el circuito para que el flujo vaya únicamente de la UGAH a los TAH. El resto del tiempo permitirá que el fluido circule hacia todo el sistema. [3].

- Válvula de 3 Vías Proporcional:

Regula la cantidad de flujo que llegará a los tanques de agua helada. De 0 a 6 hrs se abrirá completamente permitiendo el flujo máximo de diseño hacia los tanques. El resto del día modulará el flujo hacia los tanques para mantener la temperatura de la mezcla dentro de los rangos de diseño. [3]

- Unidades Manejadoras de Aire (UMA):

Se encenderán por medio del sistema de control central con base en el horario del museo o por requerimientos específicos de los operadores. La válvula de control de 3 vías depende principalmente de los termostatos.

Estos cuentan con un sensor de caída de presión en los filtros, que indicará al sistema central el momento en que sea necesario reemplazarlos. Además, cuenta con sensores de flujo que mandan una alarma al panel de control central en caso de que algún problema se presente.

Este criterio aplica también para las unidades Blower Coil (BC) o manejadoras ligeras.

Específicamente para las UMA-01 y 04 y el BC-02 se tendrá más de un termostato por manejadora, debido a la variedad de zonas a las que se les da servicio con cada una de estas manejadoras. Es por esto que para reducir costos y aprovechar el sistema de control central, promediará las temperaturas registradas en cada termostato y con base en la diferencia entre

dicho promedio y la temperatura de diseño se modificará la apertura de la válvula de tres vías de cada manejadora. [3].

- Ventiladores de Inyección (VI):

Se tendrá un controlador para el VI-05, uno para los VI-04 y 03, y otro más para los VI-02 y VI-01. Los controladores reciben información de los sensores de presión en los filtros y mandan alarmas al sistema central en el momento en que sea necesario cambiarlos. Además, apagarán a estos equipos durante la noche y los encenderán 30 minutos antes de la hora de apertura del museo para eliminar el aire viciado.

Por otro lado, el controlador encargado del VI-01 recibirá una señal del control principal cuando esté funcionando la UMA-03: en ese momento, activará dicho ventilador. Lo mismo sucede con el VI-02 y el BC-01. [3].

4.2.2 Sistema de cuartos de control

En general, la razón por la cual los cuartos de computadoras como pueden ser: data centers, cuartos de UPS, Sites, cuartos de control y lugares donde se encuentren los servidores y sistemas de cómputo de las empresas deben manejarse independientemente en la mayoría de los proyectos, esto debido a la necesidad de tener un equipo funcionando sin parar durante todas las horas del año, ya que este es el horario de los equipos que se encuentran en estos cuartos. Sin embargo, todos los equipos de aire acondicionado pueden fallar y/o necesitan mantenimiento, es por esto que se instala un equipo de respaldo. De esta forma se evitan problemas en los equipos de cómputo en cualquiera de estos cuartos ya que se consideran críticos.

Para este sistema en particular se instalarán 2 unidades manejadoras de aire por cada cuarto de control, es decir 2 en la planta de exposiciones de la misma capacidad y 2 en la planta baja, similares en características.

Para lograr redundancia en el equipo generador de agua helada, sin aumentar el costo y el espacio más de lo necesario, lo que se decidió es seleccionar una unidad enfriada por aire con el doble de la capacidad necesaria y 2 circuitos de refrigeración independientes completamente, así cuando falle el primero, se cuenta con otro circuito, sin necesidad de aumentar otro equipo. Por último, se tienen 2 bombas de agua helada, manteniendo una como respaldo.

Secuencia de operación del sistema de control:

- Unidad Generadora de Agua Helada (UGAH-02):

Ésta tendrá instalada de fábrica su propia tarjeta de control TCI (tarjeta de control integrada) para conectarse al sistema de sincronización central. De tal forma que todas las alarmas del equipo se registrarán en el sistema de control central para tomar las medidas necesarias según sea el caso.

Por otro lado, la TCI se encarga de alternar el uso de los compresores para uniformar el desgaste. [3].

- Bombas de Agua Helada (BAH-02):

En este caso es el panel central de control el que se encargará de alternarlas para que tengan un desgaste equivalente y siempre haya una en funcionamiento. Además, se pueden calendarizar las operaciones de las mismas sincronizado al calendario de mantenimiento preventivo [3].

- Unidades Manejadoras de Aire (UMA):

Estos equipos tendrán un serpentín enfriado con agua helada, regulado por una válvula de control de 3 vías. Las dos válvulas (una en cada equipo de cada cuarto de control) estarán regidas por un solo termostato colocado en el lugar que muestran los planos. Estos equipos serán de flujo constante de aire y del tipo unizona.

Cuentan con un sensor de caída de presión en los filtros, que indicará al sistema central el momento en que sea necesario reemplazarlos. Además, cuenta con sensores de flujo que mandan una alarma al panel de control central en caso de que algún problema se presente. En caso de algún fallo en la manejadora que está trabajando, el sistema central se encargará de encender instantáneamente la manejadora que se encontraba en reposo y alertar al supervisor el problema.

El panel central de control las alternará para que estas tengan un desgaste equivalente y siempre haya una en funcionamiento en caso de algún percance. Además, también se deben calendarizar las operaciones de las mismas conforme al calendario de mantenimiento preventivo. [3].

4.2.3 Sistema de cafetería

Por otro lado, en este caso en particular, se decidió tener un sistema independiente para la cafetería ya que esta es operada por una empresa independiente y tendrá un horario diferente al del museo. Para evitar conflictos entre empresas y encender todo el sistema, solo para dar servicio a la cafetería se decidió tener otro independiente.

En un principio se pensó utilizar un sistema dividido de expansión directa para reducir costos, sin embargo, la distancia que se tiene entre la condensadora y la evaporadora son muy grandes y un compresor no podría vencer la caída de presión de las tuberías a tales distancias. Es por esto que se eligió un sistema de agua helada.

Éste se compone por una UGAH enfriada por aire, 2 bombas de agua helada, una funcionando y otra en *standby*, y por último una manejadora semejante a la de las demás áreas. A continuación se muestra la secuencia de operación de este sistema:

- Generadora de Agua Helada (UGAH-03):

Se diseñó considerando que traiga instalada de fábrica su TCI para conectarse al sistema de control central. [3].

- Bombas de Agua Helada (BAH-03):

Al igual que en los otros 2 sistemas, el panel central de control se encargará de alternarlas para que estas tengan un desgaste equivalente y siempre haya una en funcionamiento en caso de algún percance. Además, se encargará de calendarizar las operaciones de las mismas conforme al calendario de mantenimiento preventivo. [3].

- Unidades Manejadoras de Aire (UMA):

Estos equipos tendrán un serpentín de enfriamiento por agua helada, regulado por una válvula de control de 3 vías. La válvula estará regida por un termostato colocado en el lugar que muestran los planos.

Por otro lado, cuenta con un sensor de caída de presión en los filtros, que indicará al sistema central el momento en que sea necesario reemplazarlos. Además, cuenta con sensores de flujo que mandan una alarma al panel de control central en caso de que algún problema se presente. [3].

4.3 Aplicación de controles

Como se mencionó en las secuencias de operación se tendrá un sistema de control central, al que estarán interconectados todos los equipos para optimizar su funcionamiento individual y la eficiencia del edificio, minimizando a su vez costos de operación y facilitando las labores de mantenimiento preventivo.

Para este caso también se van a monitorear la planta de emergencia y la subestación eléctrica para tener una mejor idea del comportamiento integral del edificio.

El sistema cuenta con los siguientes elementos:

- Un PC Server con un software central con capacidad de comunicación abierta a casi cualquier protocolo especializado para este fin (LONWORKS, MODBUS RTU, BACnet). Dicha plataforma de software presenta la última generación y vanguardia tecnológica en su género, además de ser sumamente amigable para el operador. El modo de operación puede presentarse en manera de texto o con una interfase gráfica para la rápida, cómoda y fácil operación y manipulación de las variables, base de datos y de la información de los sistemas que se están monitoreado.
- Un SWITCH de 5 puertos con la base de comunicación 10/100/1000 TCP/IP, con la finalidad de poder integrar y transmitir al PC SERVER todas las señales en protocolo BACnet que vienen de la red de monitoreo y control de todo el museo.
- Controlador Central de Red del Edificio (BMTX BCU), por medio del cual se administra y reciben los datos de la red de controladores con protocolos de comunicación cerrada Comm1, 2,3 y 4, además del protocolo abierto LonTalk.
- Tarjetas de control integradas e instaladas de fábrica (Controlador Montado en Unidad CMU) en las UMAS con protocolo de comunicación LonTalk.

- Cada UGAH contará también con su propia tarjeta de control. Las señales de estas salen en protocolo cerrado de la empresa llamado Comm4.
- Un controlador independiente se encargará del arranque y paro de las bombas, estos controladores cuentan con señal de salida en Comm4.
- También se tendrán otros controladores semejantes a los anteriores para controlar a los ventiladores de inyección.
- La planta de emergencia y la subestación eléctrica cuentan con su propio tablero de control, estos tableros por lo general utilizan protocolos abiertos ModBus.
- La red de comunicación ModBus se conectará a un puente o traductor de protocolo llamado BRIDGE COMM el cual convertirá los datos de ModBus a protocolo BACnet. De ese dispositivo BRIDGE COMM se genera un bus de comunicaciones BACnet el cual llega puntual a interconectarse con el Switch de 5 puertos.
- Se contará con un bus de cableado y tuberías conduit muy sencillos que van de punto a punto de cada equipo a cada controlador.[3].

Como se observa la instalación en campo es fácil y relativamente barata, sin embargo, los sistemas de control en general son caros debido los altos costos de cada controlador.

A continuación, en la figura 4.5 se presenta el diagrama con la arquitectura de control.

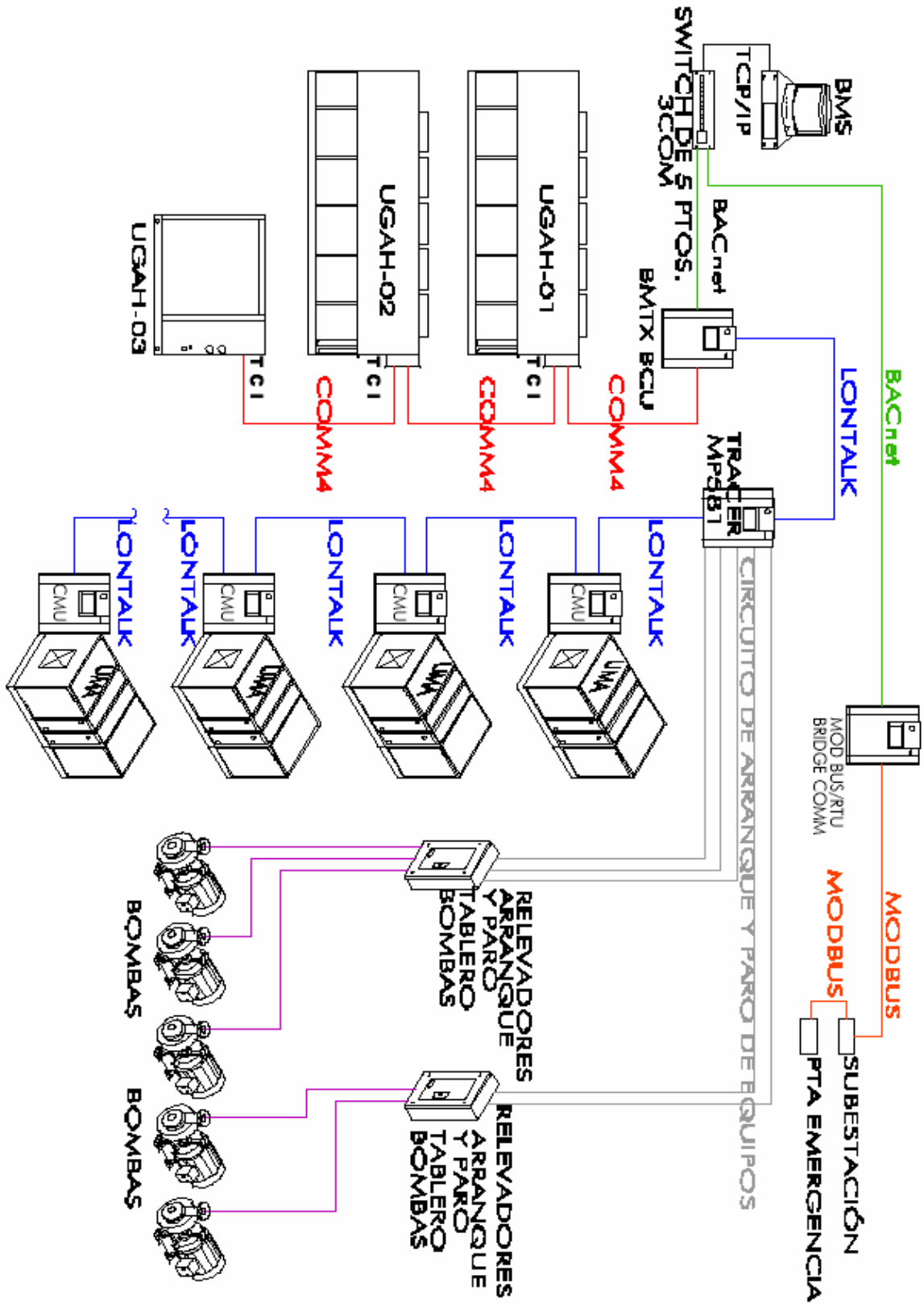


Fig. 4.5 Arquitectura de control.

5 CÁLCULOS

5.1 Parámetros y consideraciones

En primer lugar se realizaron los cálculos de carga térmica del edificio con base en las siguientes condiciones:

5.1.1 Parámetros

Los parámetros de diseño para todas las áreas del Museo Nacional de la Piel están basados en datos de AMERIC (Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, A.C), ya que sus requerimientos son más elevados que los indicados por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). En todos los casos se utilizó el Método de la Función de Transferencia (TFM) para la realización de los cálculos térmicos. Sin embargo, no es la finalidad de este trabajo explicar dicho método.[1]

Condiciones exteriores de diseño para la ciudad de León, GTO :

Latitud:	21°07' N
Longitud:	101° 41' W
Altura sobre el nivel del mar:	1,809 metros (5,935 pies)
Presión barométrica:	822 mbar 617 mm Hg 24.29 " Hg

Datos de verano:

Temperatura máxima promedio (°F / °C)	97.7 / 36.5
Temperatura de Bulbo Seco (°F / °C)	93.2 / 34.0
Temperatura de Bulbo Húmedo (°F / °C)	68.0 / 20.0

Datos de invierno

Temperatura mínima promedio (°F/°C)	27.5 / -2.5
Temperatura de Bulbo Seco (°F/°C)	35.6 / 2.0 [1].

Para regular los cálculos térmicos del edificio se tomaron en cuenta los siguientes factores para transmisión y asoleamiento:

CONCEPTO	TRANSMISIÓN K		TRANSMISIÓN TOTAL DE CALOR SOLAR
	BTU/h/ft ² /F	W/m ² /K	
Muro exterior	0.2945	1.6722	--
Techo	0.3833	2.1765	--
Vidrio de 12mm espesor	1.03	5.8483	0.36
Muro no acondicionado	0.49	2.7878	--
Tragaluces	0.7	3.9746	0.2
Piso área Vestíbulo	0.3833	2.1765	--

Tabla 5.1 Coeficientes de transmisión.[1]

Condiciones interiores de diseño

	Oficinas	Exposición
TEMPERATURA DE BULBO SECO		
Verano (°F/°C)	73.4 / 23	73.4 / 23
Invierno	No	No
HUMEDAD RELATIVA (%)		
Verano	50	50
Invierno	No	No
RAZÓN DE CIRCULACIÓN DE AIRE		
Promedio	10	20
NIVEL DE RUIDO (NC)	35	35

Tabla 5.2 Parámetros de diseño.[1]

5.1.2 Balance energético

En un edificio se tienen diferentes formas de transferencia de calor, los equipos de aire acondicionado deben remover cierta cantidad de calor del edificio con el fin de mantener las condiciones de diseño mostradas anteriormente. A continuación se muestran las formas de transferencia de calor y las formulas que se emplearon para calcular la carga térmica del edificio:

- Ganancia de calor debida a la transmisión a través de barreras:

$$Q_1 = U A \Delta T \quad 1$$

Donde:

Q_1 = calor por transmisión [Btu/hr].

A = área [ft²].

ΔT = $T_{ext} - T_{int}$ [°F].

T_{ext} = temperatura exterior [°F].

T_{int} = temperatura interior [°F].

U = coeficiente de transferencia de calor total [Btu/hr ft² °F]. [5]

Dicho coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{L_1}{K_1} + \dots + \frac{L_n}{K_n} + \frac{1}{h_1}} \quad 2$$

h_n = coeficiente convectivo [Btu/hr ft² °F].

L_n = espesor de capa de un mismo material [ft].

K_n = conductividad térmica [Btu/hr ft° F]. [9].

- Ganancia de calor debida al efecto solar a través de los cristales:

$$Q_2 = q f A \quad 3$$

Donde

Q_2 = ganancia total de calor en la ventana [Btu/hr].

q = ganancia máxima de calor en una ventana debido al efecto solar [Btu/hft²].

Este valor se obtiene de tablas según la hora del día, el mes, la orientación y la latitud.

f = factor de corrección.

También se obtiene de tablas según el tipo de vidrios y dispositivos protectores contra la luz solar.

A = área del cristal [ft²]. [5].

- Ganancia de calor debida al efecto solar a través de muros y techos:

$$Q_3 = U T_e \quad 4$$

Donde

Q_3 = calor ganado por transmisión más calor ganado por los rayos solares [Btu/hr].

U = coeficiente de transferencia de calor total [Btu/hr ft² °F].

T_e = temperatura equivalente [°F].

La temperatura equivalente también se obtiene de tablas de acuerdo a la orientación, tipo de construcción, tipo de pintura, hora del día y sombras. [5].

- Ganancia de calor debida a las personas. [5].

Se obtiene de valores de tablas, dependiendo de la actividad de las personas. Los valores por persona considerados para este trabajo se muestran en la tabla 5.3.

- Ganancia de calor debido a iluminación y equipos misceláneos. [5].

Los valores considerados se muestran en la tabla 5.3.

- Calor adquirido debido al aire de renovación o para ventilación.

En este caso se gana calor sensible y calor latente. Cada uno se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{4S} = k G ? T \quad 5$$

Donde

Q_{4s} = ganancia de calor sensible [Btu/hr].

G = gasto volumétrico [ft^3/min].

T = temperatura [$^{\circ}\text{F}$].

$?T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}$ [$^{\circ}\text{F}$].

T_{ext} = temperatura exterior [$^{\circ}\text{F}$].

T_{int} = temperatura interior [$^{\circ}\text{F}$].

k = es una constante y se calcula de la siguiente manera:

$$k = ? C_e (60) \quad 6$$

? = densidad del aire [lb/ft^3].

C_e = calor específico del aire [Btu/lb $^{\circ}\text{F}$]. [5].

$$Q_{4L} = k G ?H \quad 7$$

Donde

Q_{4s} = ganancia de calor latente [Btu/hr].

G = gasto volumétrico [ft^3/min].

$?H = H_{\text{ext}} - H_{\text{int}}$ [$\text{lb}_v / \text{lb}_a$].

H_{ext} = humedad específica del aire fuera del volumen por acondicionar [$\text{lb}_v / \text{lb}_a$].

H_{int} = humedad específica del aire dentro del volumen por acondicionar [$\text{lb}_v / \text{lb}_a$]. [5].

Para calcular las cargas térmicas debidas a los ocupantes así como iluminación, equipo eléctrico, de cómputo y del aire de renovación se consideró lo siguiente:

CONCEPTO	GENTE SENSIBLE (Btu/hr)	GENTE LATENTE (Btu/hr)	GENTE (m^2/pers)	ILUMINACIÓN (W/m^2)	EQUIPO (W/m^2)	AIRE DE RENOVACIÓN ($\text{ft}^3/\text{min}/\text{persona}$)
Oficinas	250	200	Según muebles	16	25	15
Exposiciones	250	200	6	16	25	15
Salas de juntas	250	200	Según muebles	16	15	15
Auditorio	250	200	Según muebles	16	10	15
Usos múltiples	250	200	7	16	25	15
Control Planta Baja	250	200	1	16	31 kW	15
Control Planta Exposiciones	250	200	1	16	60 kW	15
Cafetería	275	275	Según muebles	16	25	15

Tabla 5.3 Consideraciones térmicas. [1].

Se consideró un horario de trabajo para el museo de la piel de 8 de la mañana a las 8 de la noche. Ningún museo trabaja 12 horas sin embargo, se eligió dicho horario para tener margen ya que los encargados del museo, aún no han elegido el horario final.

El estudio económico se realizó a 20 años porque es el tiempo de vida promedio para las UGAH.

Los cálculos se realizaron con el programa de diseño Trace 700 de Trane el cual realiza una corrida para cada hora del año y determina la carga térmica máxima de un edificio en cierto día del año.

5.2 Resultados térmicos

En un edificio se tienen una carga pico y una denominada bloque. La carga pico es la suma de las cargas máximas de cada área independiente, y la carga bloque es la carga máxima del edificio, generalmente no son iguales. Esto se debe a diferentes factores, el más fácil de explicar es el de la orientación del edificio, es decir, durante la mañana las áreas orientadas al este recibirán mayor radiación solar que las que dan al oeste. Conforme avanza el día aumenta el calor proporcionado por el sol y las áreas orientadas al oeste reciben mayor carga térmica que las que dan al este, las cuales se empiezan a enfriar al no recibir directamente los rayos solares. En ningún momento del día el sol incide directamente sobre ambos lados simultáneamente. Es por esto que nunca se alcanzará la carga pico sino solamente la carga bloque, que es menor. Todas las selecciones de los equipos deben estar basadas en la carga bloque, así que con esto se empiezan a disminuir los costos iniciales.

En la tabla se muestran las cargas pico y bloque del Museo de la Piel, en toneladas de refrigeración (TR) la hora y el mes en que sucederá la carga bloque.

	Áreas	Carga Pico	Fecha Pico	Carga Bloque
Sistema Exposiciones	Auditorio	12.6	5/17	11.7
	Centro de Información	4.4	5/17	4.4
	Exposición Noreste	31.5	5/17	29.8
	Exposición Noroeste	37.2	5/17	34.6
	Exposición Sureste	30.9	5/17	29.2
	Exposición Suroeste	35.4	5/17	34.0
	Exposición Temporal	40.6	5/17	40.2
	Oficinas	9.9	5/17	9.6
	Sala de Juntas y Cocina	1.7	5/17	1.6
	Salón Usos Múltiples	6.9	5/17	6.0
	Total Sistema	211.1	5/17	201.0
Sistema Cafetería	Cafetería	10.2	6/18	10.2
	Total Sistema	10.2	6/18	10.2
Sistema de Cuartos de Control	Cuartos de Control	29.1	1/10	29.1
	Total Sistema	29.1	1/10	29.1
Totales del Edificio		250.3	5/17	240.3

Tabla 5.4 Cargas bloque.

La carga bloque del edificio sucederá en mayo a las 5 de la tarde.

Como se observa para los sistemas de cafetería y cuartos de control la carga bloque y la carga pico son iguales. Sin embargo, para el sistema de exposiciones hay una diferencia de 10 TR, que también se refleja obviamente en el total. La mayor parte de la diferencia se da en la planta de exposiciones, por los efectos que se describieron anteriormente.

Las UGAH se seleccionaron en base a las cargas bloque mostradas en la tabla 5.4.

Por otro lado para seleccionar las UMAs se deben considerar otros factores, no solo la carga térmica, sino además factores como temperaturas de inyección, de retorno y el gasto volumétrico necesario para poder superar la carga térmica en los espacios.

Las cargas y gastos volumétricos de cada área y en conjunto por sistema se muestran en las tablas 5.5.1 y 5.5.2.

Sistema	Zone	Área m ²	Personas	Carga Sensible Btu/h	Carga Total Btu/h	Gasto Volumetrico PCM	Cambios de Aire por Hora
Auditorio	Auditorio	219	125	92,705	144,735	2,835	4
	Sala de Proyección	14	3	5,702	6,940	155	5
	Pico Sistema	233	128	98,407	151,675	2,990	
	Bloque Sistema	233	128	98,234	151,512	2,990	
Cafetería	Cafeteria	102	58	87,821	116,389	3,826	18
	Enfermeria	8	3	4,533	5,775	149	9
	Pico Sistema	111	61	92,354	122,164	3,975	
	Bloque Sistema	111	61	92,309	122,130	3,975	
Centro de Información	Centro de Informacion	110	22	43,691	52,897	1,610	7
	Pico Sistema	110	22	43,691	52,897	1,610	
	Bloque Sistema	110	22	43,691	52,897	1,610	
Cuartos de Control	Control PA	28	1	214,847	215,047	18,098	529
	Control PB	35	35	127,263	134,329	10,538	202
	Pico Sistema	63	36	342,110	349,376	28,636	
	Bloque Sistema	63	36	342,110	349,376	28,636	
Exposición Noreste	Area Interior Noreste	370	62	193,572	211,676	7,915	7
	Area Noreste	135	22	154,947	164,388	10,934	28
	Pico Sistema	505	84	348,519	376,064	18,849	
	Bloque Sistema	505	84	353,554	377,995	18,849	
Exposición Noroeste	Area Interior Noroeste	356	59	193,340	210,586	8,756	8
	Area Noroeste	135	22	229,482	236,052	15,383	39
	Pico Sistema	491	82	422,822	446,637	24,139	
	Bloque Sistema	491	82	422,345	446,283	24,139	
Exposicion Sureste	Area Interior Sureste	354	59	186,258	203,578	7,643	7
	Area Sureste	135	22	158,702	167,610	11,009	28
	Pico Sistema	489	81	344,960	371,188	18,652	
	Bloque Sistema	489	81	347,018	370,684	18,652	

Tabla 5.5.1 Cargas térmicas por zonas.

Sistema	Zone	Área m ²	Personas	Carga Sensible Btu/h	Carga Total Btu/h	Gasto Volumetrico PCM	Cambios de Aire por Hora
Exposición Suroeste	Area Interior Suroeste	189	32	206,190	215,173	14,965	27
	Area Suroeste	135	22	217,237	223,774	15,204	39
	Pico Sistema	324	54	423,428	438,947	30,169	
	Bloque Sistema	324	54	409,163	424,730	30,169	
Exposición Temporal	Exposición Temporal	984	164	419,416	487,513	16,441	9
	Pico Sistema	984	164	419,416	487,513	16,441	
	Bloque Sistema	984	164	419,417	487,514	16,441	
Oficinas	Administracion 1	11	1	4,525	4,945	128	10
	Administracion 2	8	1	3,198	3,618	93	10
	Administracion 3	35	5	23,333	25,433	1,279	31
	Centro de Inovación y Diseño	150	25	49,545	60,018	2,840	22
	Dirección	15	1	7,092	7,385	244	13
	Recepción	27	5	16,120	18,220	835	26
	Pico Sistema	246	38	104,106	119,914	5,419	
	Bloque Sistema	246	38	102,264	118,198	5,419	
Sala de Juntas y Cocina	Cocina	5	2	2,573	3,408	81	14
	Cuarto	5	1	1,177	1,595	75	12
	Sala de Juntas	12	8	7,383	10,694	248	18
	Site	17	2	3,770	4,601	227	9
	Pico Sistema	40	13	14,877	20,271	632	
	Bloque Sistema	40	13	14,888	20,269	628	
Salon Usos Multiples	Servicios Generales	141	20	27,848	36,248	1,800	4
	Tapanco de Servicios Generales	95	16	41,331	47,915	1,241	4
	Pico Sistema	236	36	69,179	84,163	3,041	
	Bloque Sistema	236	36	67,612	82,472	3,041	

Tabla 5.5.2 Cargas térmicas por zonas.

El dato de cambios por hora ayuda a visualizar la ventilación que se tendrá en los cuartos. Ésta depende de la cantidad de aire exterior inyectado, el cual a su vez depende de la cantidad de personas y el volumen de la zona.

En este caso se pueden tener diferencias entre las cargas pico y bloque para una misma manejadora.

Como las manejadoras deben ser pequeñas en dimensiones para caber dentro de la estructura, se utilizará más de una por zona en el área de exposiciones. Para las demás áreas se tendrá una UMA dando servicio a diferentes áreas como se aprecia en las tablas 5.5.1 y 5.5.2.

Para asegurar que la cantidad de tanques y el tamaño de la UGAH sean suficientes para soportar la carga máxima del edificio para la alternativa mas critica que tiene 70% de capacidad en UGAH y 30% en hielo, ocurrida en el mes de mayo, se obtuvo la tabla 5.6:

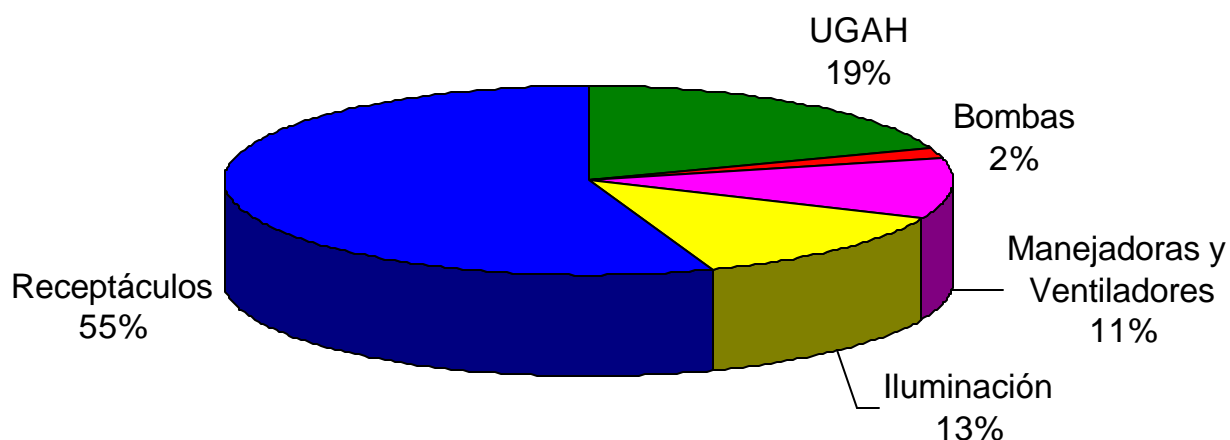
Mes en Carga Bloque					
Hora	Temp BS °F	Temp BH °F	Capacidad Demandada TR	Capacidad UGAH TR	Capacidad en Hielo TR
1	65	57	0	104	104
2	63	56	0	104	203
3	62	55	0	104	297
4	61	54	0	104	386
5	61	53	0	104	471
6	61	54	0	104	551
7	63	55	0	0	551
8	66	58	0	0	551
9	70	62	46	46	551
10	75	63	56	56	551
11	80	65	89	89	551
12	86	66	132	130	549
13	90	67	152	130	527
14	92	68	170	130	486
15	93	68	185	130	430
16	92	68	196	130	364
17	90	67	201	130	293
18	86	66	197	130	226
19	82	65	183	130	172
20	78	64	163	130	138
21	74	63	29	0	102
22	71	62	27	0	69
23	68	60	0	0	69
24	67	59	0	0	69

Tabla 5.6 Distribución de cargas térmicas para día de diseño.

5.3 Análisis energético y económico

Para este caso en particular se decidió reducir el gasto energético de la UGAH general en lugar de las UMAs u otros componentes, porque ésta representa una de las mayores cargas en el edificio como se muestra en la gráfica 5.1.

Distribución de cargas eléctricas



Gráfica 5.1 Distribución de cargas eléctricas.

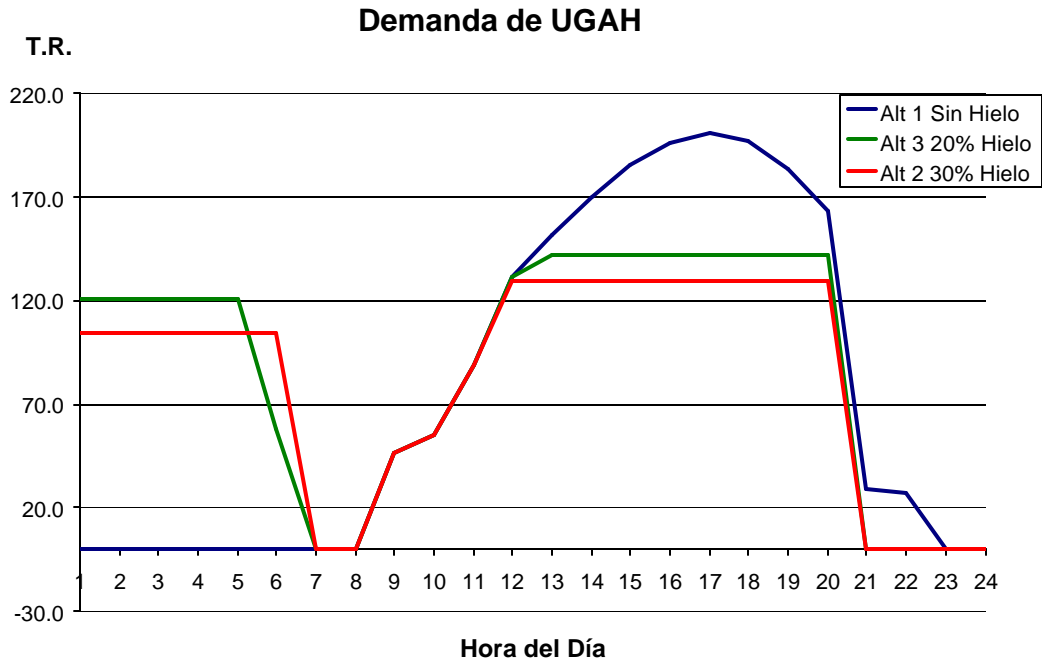
Como se observa la carga del aire acondicionado representa la tercera parte de la carga total del edificio y las plantas de agua helada por sí solas la quinta parte, siendo ésta la segunda mayor carga en el edificio. Para reducir costos, lo importante es reducir los de mayor tamaño, para efectos de este trabajo nos concentraremos únicamente en la UGAH.

Este trabajo se basó en la tarifa eléctrica de la compañía Luz y Fuerza del Centro del 2007 que se muestra a continuación.

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Demanda	127.3	123	122.7	122.9	124	126.2	129.6	132.7	134.9	136.1	137.1	138.8
Punta \$/kWh	2.406	2.324	2.318	2.322	2.344	2.384	2.449	2.507	2.548	2.571	2.591	2.623
Intermedio \$/kWh	0.77	0.743	0.742	0.743	0.75	0.763	0.783	0.802	0.815	0.822	0.829	0.839
Base \$/kWh	0.643	0.621	0.62	0.62	0.626	0.637	0.654	0.67	0.681	0.687	0.693	0.701

Tabla 5.7 Tarifas eléctricas de Luz y Fuerza del Centro. [6].

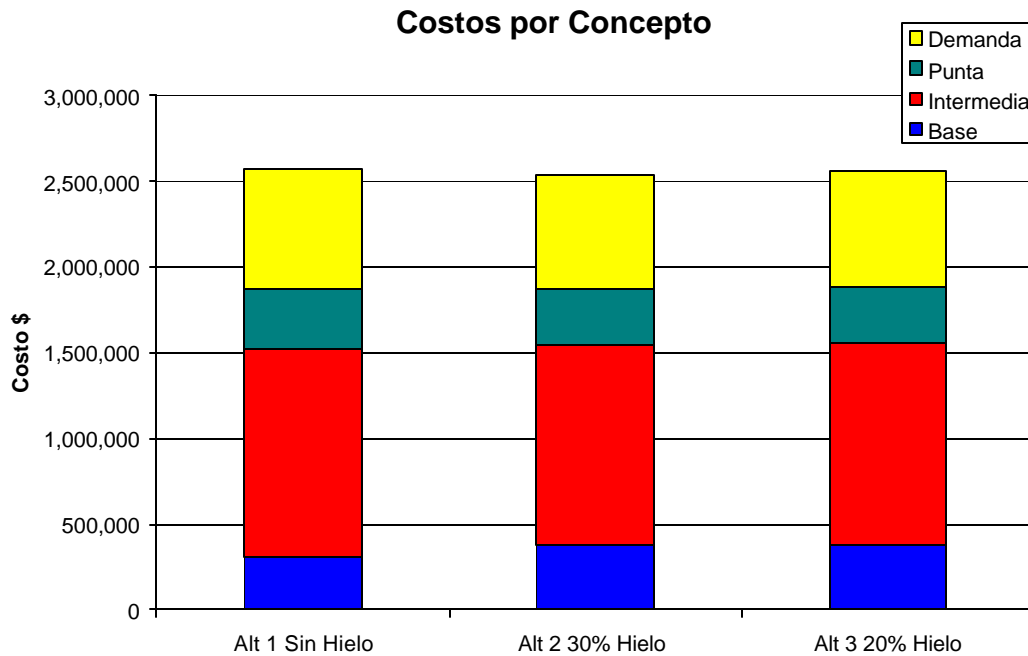
En la tabla 5.7 se observa la diferencia de costos dependiendo del horario. Por ejemplo el costo en horario punta es más del doble que el intermedio. Por otro lado, el costo por kW también es muy elevado, por esto es que se trata de que la demanda total del edificio sea menor distribuyendo las cargas a lo largo del día como se representa en la gráfica 5.2.



Gráfica 5.2 Demanda de UGAH en las diferentes alternativas.

Esta distribución solo muestra la carga de las UGAH que es la que se pretende reducir y no la demanda de todo el edificio.

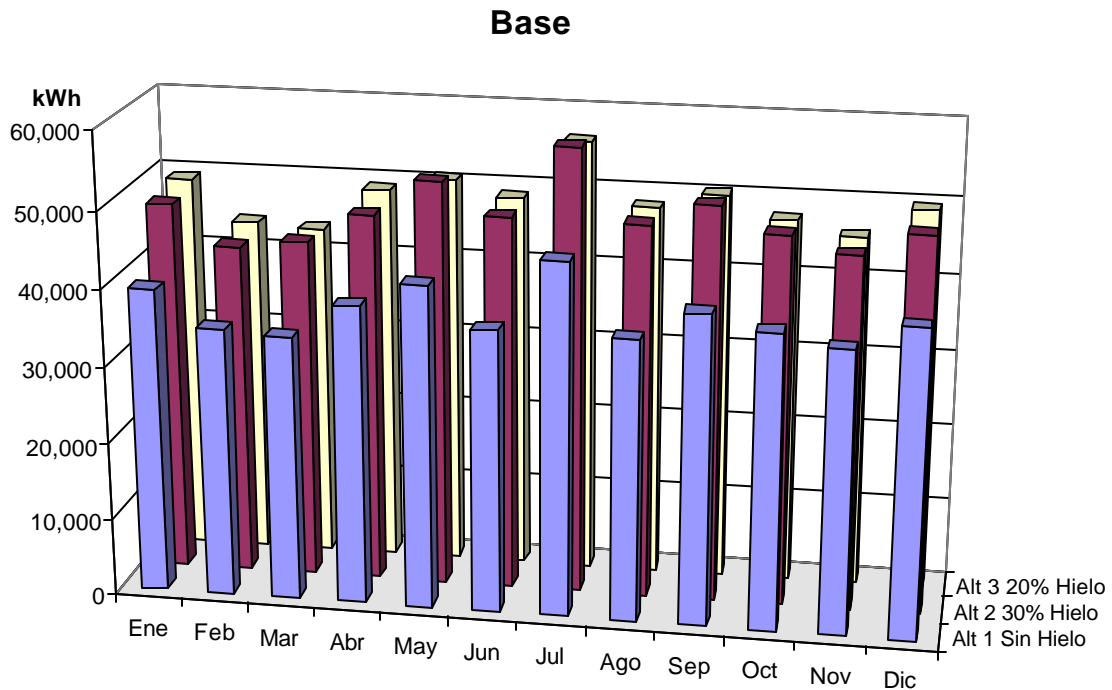
En las siguientes gráficas se muestra la distribución de costos por concepto anual para cada una de las alternativas:



Gráfica 5.3 Costo por concepto para cada alternativa.

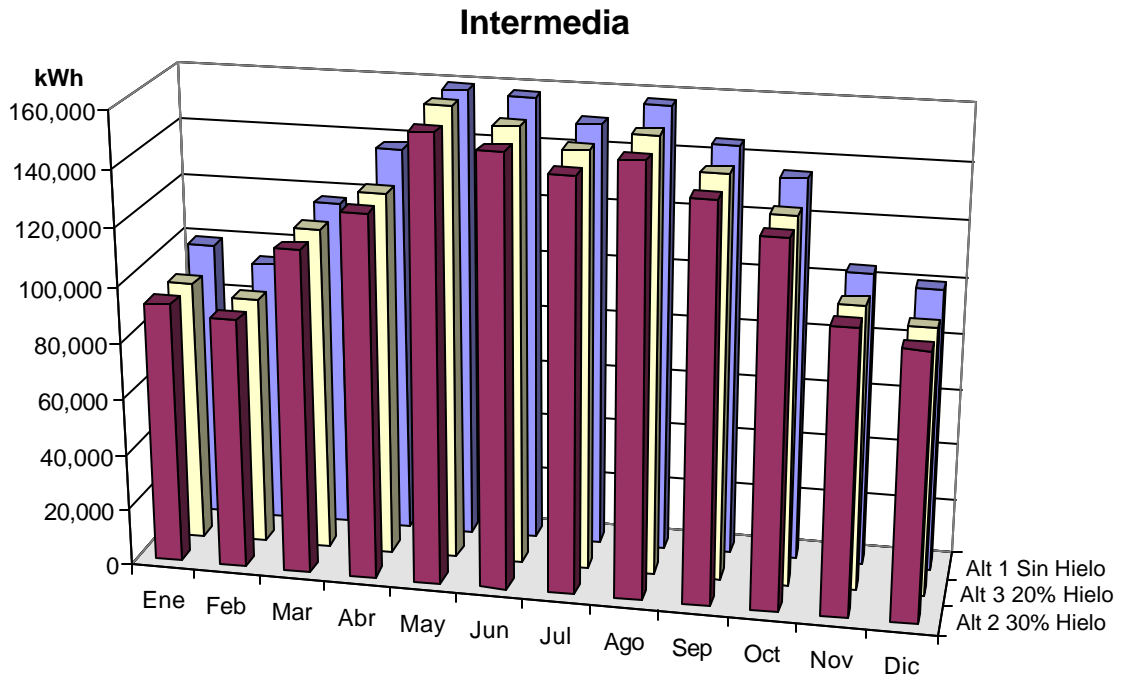
Se aprecia que los conceptos que contribuyen en mayor medida son los de consumo en tarifa intermedia y el de demanda, por tanto se pretende reducir tales gastos.

En la gráfica 5.3 no se aprecian diferencias notables entre las 3 alternativas. Para poder apreciarlas es necesario revisar valores numéricos, los cuales se muestran más adelante en las comparativas económicas y energéticas en cada concepto como se muestra a continuación:



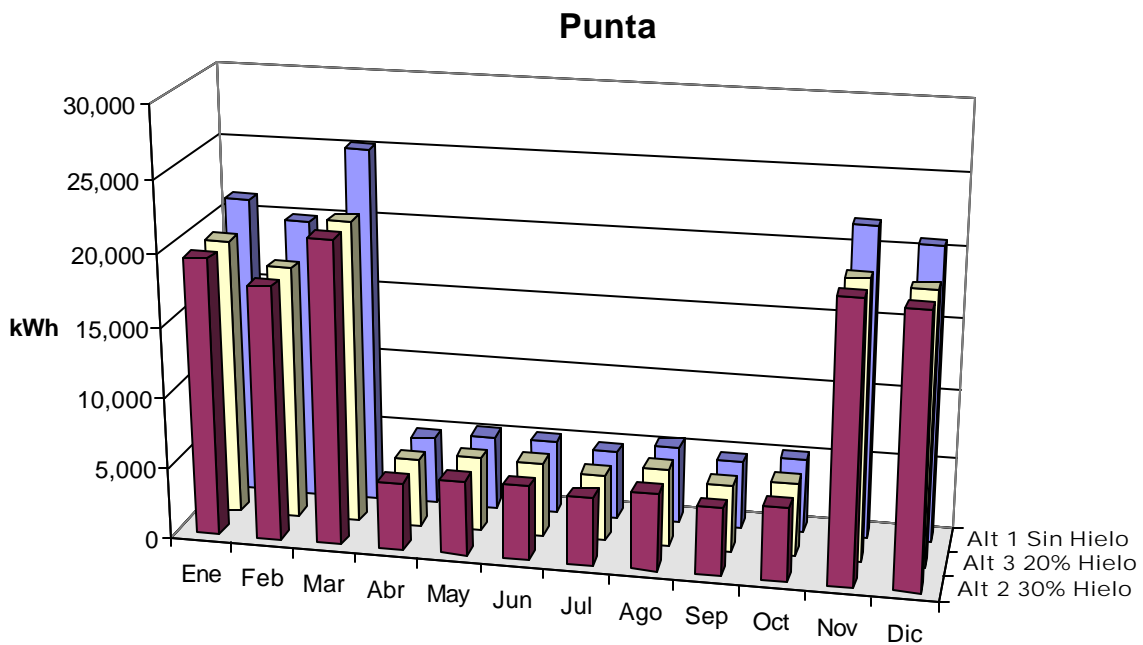
Gráfica 5.4 Distribución de consumo para cada alternativa en horario base.

Como se esperaba en horario base las alternativa 2 y 3 son mayores, en cuanto a consumo de energía, que en la alternativa 1. Sin embargo debemos recordar que en este horario es cuando las tarifas son menores.



Gráfica 5.5 Distribución de consumo para cada alternativa en horario intermedio.

El aumento en la carga base se refleja en una disminución para la intermedia, el cual como se mencionó, representa el mayor costo energético y además, su tarifa es mayor que la de horario base.



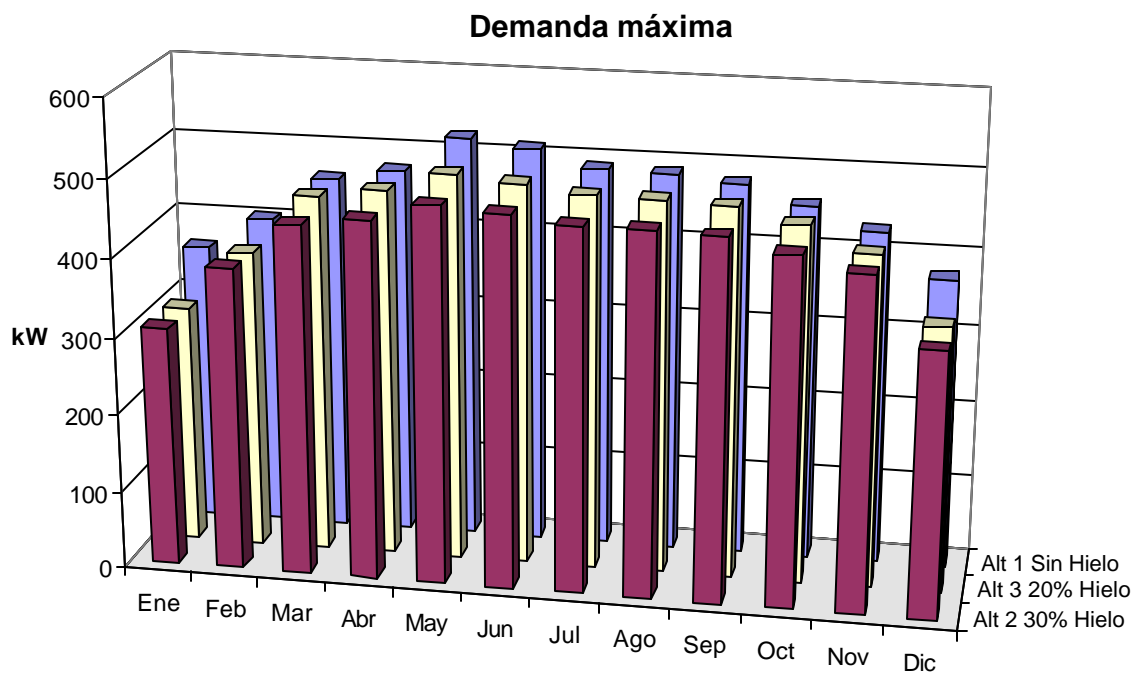
Gráfica 5.6 Distribución de consumo para cada alternativa en horario punta.

En las graficas 5.5 y 5.6 se observa que en la mayoría de los meses la alternativa 2 consume menos energía comparada con las alternativas 1 y 3.

Se observa que los costos en horario de verano disminuyen dramáticamente de abril a octubre. Esto se debe a que el horario en punta se modifica en estos meses, empezando hasta las 8 de la noche y eliminándose este tipo de tarifa para los fines de semana. Es por esto, que en esos meses la demanda es la misma para las demás alternativas. Mientras que en el resto de los meses la demanda para la alternativa 1 es mayor que en la de las otras alternativas.

También se aprecia que debido al posible horario que tendrá el museo la carga punta no es muy significativa para este proyecto en particular, sin embargo este puede ser un punto importante para emplear el hielo en otros proyectos.

Se comprueba con las gráficas 5.4, 5.5 y 5.6 que el consumo de energía durante el periodo intermedio se consume más del doble de energía que en periodo base, aun generando hielo.

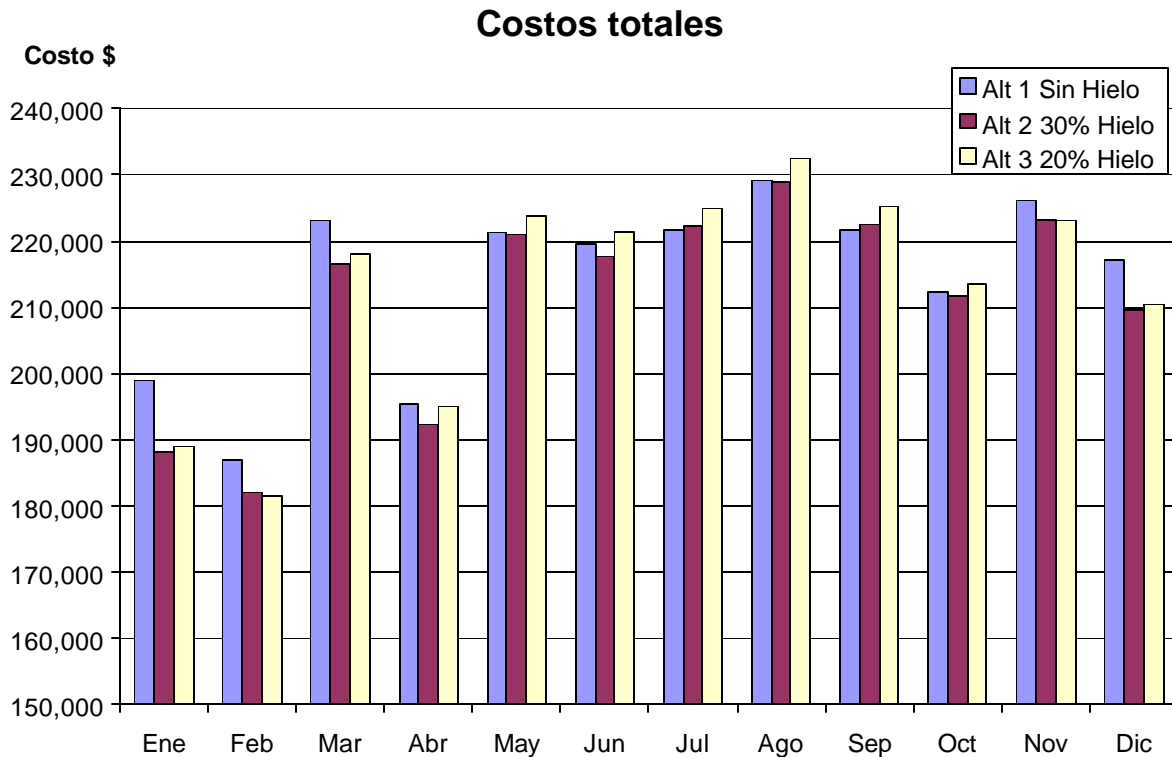


Gráfica 5.7 Distribución de demanda máxima para cada alternativa.

Por último, como era de esperarse y según se ve en la tabla 5.7, la demanda máxima es menor en la alternativa 2 en todos los meses del año.

El enfoque del uso de hielo en el museo de la piel fue para disminuir la demanda ya que el costo por kW es elevado en nuestro país. Y gracias a la grafica 5.7 demostramos que se pueden tener reducciones importantes de hasta 40 kW.

Las diferencias mostradas en las gráficas anteriores se reflejan en los costos de energía mensuales de la siguiente manera:



Gráfica 5.8 Distribución de costos totales para cada alternativa.

Aunque en meses como julio y septiembre la tarifa es mayor en las opciones donde se genera hielo, la máxima diferencia es de \$735.00. Mientras que la diferencia en enero llega a ser de \$10,756.00 favorable a la alternativa 2.

Por último, se realizó un estudio económico a 20 años tomando en cuenta una inflación en el costo energético de 0.7 % anual, el cual es muy optimista, con costos de mantenimiento iguales en las 3 alternativas, ya que los tanques de hielo no necesitan mantenimiento prácticamente, y en base a precios de lista de equipos de una misma compañía. Se tomó como referencia a la alternativa 2, que tiene la UGAH a 70% de la carga máxima, para comprobar sus beneficios a largo plazo. Los resultados se muestran en la tabla 5.7 y 5.8

Alternativa 2 vs Alternativa 1				
Año	Diferencia de Flujo de Caja (miles de pesos)	Diferencia de Flujo de Caja Acumulado (miles de pesos)	Valor Presente de Diferencia de Flujo de Caja (miles de pesos)	Valor Presente Neto (miles de pesos)
0	31.37	31.37	31.37	31.37
1	37.84	69.21	35.70	67.07
2	38.11	107.32	33.92	100.98
3	38.38	145.69	32.22	133.21
4	38.64	184.34	30.61	163.81
5	38.91	223.25	29.08	192.89
6	39.19	262.44	27.63	220.52
7	39.46	301.90	26.24	246.76
8	39.74	341.64	24.93	271.69
9	40.02	381.65	23.69	295.38
10	40.30	421.95	22.50	317.88
11	40.58	462.52	21.38	339.26
12	40.86	503.39	20.31	359.56
13	41.15	544.53	19.29	378.85
14	41.44	585.97	18.33	397.18
15	41.73	627.70	17.41	414.59
16	42.02	669.71	16.54	431.13
17	42.31	712.02	15.71	446.84
18	42.61	754.63	14.93	461.77
19	42.91	797.54	14.18	475.95
20	43.21	840.75	13.47	489.43

Tabla 5.8 Comparación de Alternativa 2 vs. Alternativa 1.

Para este caso, la tasa interna de retorno es de más de 1000% ya que se amortigua desde el año 0, gracias a que la diferencia del costo inicial que es de \$31,367. Al final del periodo se obtuvo una ganancia en valor presente neto de \$ 489,425.

Alternativa 2 vs Alternativa 3				
Año	Diferencia de Flujo de Caja (miles de pesos)	Diferencia de Flujo de Caja Acumulado (miles de pesos)	Valor Presente de Diferencia de Flujo de Caja (miles de pesos)	Valor Presente Neto (miles de pesos)
0	18.47	18.47	18.47	18.47
1	22.57	41.04	21.29	39.76
2	22.73	63.77	20.23	59.99
3	22.88	86.65	19.21	79.21
4	23.05	109.70	18.25	97.46
5	23.21	132.90	17.34	114.80
6	23.37	156.27	16.47	131.27
7	23.53	179.81	15.65	146.92
8	23.70	203.50	14.87	161.79
9	23.86	227.37	14.12	175.92
10	24.03	251.40	13.42	189.34
11	24.20	275.59	12.75	202.08
12	24.37	299.96	12.11	214.19
13	24.54	324.50	11.50	225.70
14	24.71	349.21	10.93	236.63
15	24.88	374.09	10.38	247.01
16	25.06	399.15	9.86	256.87
17	25.23	424.38	9.37	266.24
18	25.41	449.79	8.90	275.15
19	25.59	475.38	8.46	283.60
20	25.77	501.15	8.03	291.64

Tabla 5.9 Comparación de Alternativa 2 vs. Alternativa 3.

También en este caso la tasa interna de retorno es de más de 1000% y se amortigua desde el año 0. En esta comparación la diferencia inicial de costos es de \$18,474.00 y se tendrá una ganancia en valor presente de \$291,636.45.

Apoyándose en todos los resultados anteriores, se comprueba que la mejor alternativa en todos los aspectos y a corto, mediano y largo plazo es la alternativa 2 la cual utiliza una UGAH de 70% de capacidad es decir 140 TR nominal y 30% de hielo con 551 TR hr.

6 Conclusiones

Con este trabajo se demostró la experiencia profesional que he adquirido después de realizar un proyecto relativamente grande y de haber utilizado nuevas tecnologías. Esto se logró mostrando la forma en que se trabajó para diseñar el proyecto del Museo de la Piel en León, y las soluciones a los problemas que se iban presentando a lo largo del proyecto.

Gracias a este proyecto se tuvo un largo periodo de estudio de los sistemas y el reflejo de los conocimientos que adquirí se muestran en los capítulos 2 y 3. Mientras que los resultados se presentan en la secuencia de operación y control y en los planos. A pesar de que se realizó un extenso análisis económico y energético, los ahorros y ventajas se demostrarán cuando el museo esté en servicio.

Por la complejidad de este proyecto, se tuvo la experiencia de trabajar con personas especializadas tanto en control como en generación de hielo. Con la ayuda de los especialistas se seleccionaron hardware para el caso de control, modelos de tanques de hielo y componentes del sistema. Esta experiencia de haber trabajado con ellos, servirá para los proyectos que se están diseñando actualmente.

Gracias al estudio económico mostrados en el capítulo 5, se comprobó que los diseños sustentables no necesariamente tienen que ser más caros que los tradicionales como es la creencia general. El Museo de la Piel es el mejor ejemplo de ello, ya que se obtienen ganancias desde el costo inicial al reducirse el tamaño de las UGAH y expandiéndose durante todo el tiempo de vida de los equipos al consumir la energía en la forma más conveniente para los propietarios, encargados y para CFE.

Por otro lado, el haber contado con la ayuda de los dibujantes y la supervisión directa de mi jefe a lo largo del proceso y durante las diferentes versiones de planos que se generaron para obtener la solución final aprobada, representó una experiencia de trabajo en equipo para alcanzar un objetivo común.

También se mostró en este trabajo los diversos factores que se deben considerar para que un sistema sea confiable y eficiente. En este caso solo se mostraron 2 tecnologías que se emplean en la actualidad. Sin embargo, existen muchos otros métodos y tecnologías para ahorrar energía, dinero y obtener sistemas sustentables que disminuyen el impacto ambiental generado. Algunos de estos métodos en los cuales me estoy involucrando en la actualidad son:

- Métodos de inyección por piso.
- Uso del subsuelo como sistema de almacenamiento de energía térmica.
- Recuperación de calor para uso doméstico y otras aplicaciones.
- Volumen variable tanto en la parte de aire como en la parte de refrigerantes y agua helada.

Por otro lado, como se observó en este trabajo casi todos estos métodos dependen de un buen sistema de control. Al unificar los procesos de los diferentes sistemas en un solo cerebro las posibilidades de errores disminuyen considerablemente y en caso de presentarse es más sencillo identificarlos rápidamente para poder repararlos. Inversamente se expanden las posibilidades para

generar nuevos métodos que aumentan la eficiencia, fomentando de esta manera el desarrollo sustentable de proyectos de aire acondicionado.

Sin embargo, en otros proyectos el costo inicial puede ser mayor. Esta es una de las mayores causas por las cuales los inversionistas no deciden invertir en tecnologías sustentables, pero al tener las herramientas para realizar análisis económicos, que es lo que a ellos les interesa, podemos convencerlos de que al invertir más dinero en un principio, se pueden obtener mayores beneficios a mediano y largo plazo, al amortizar la inversión en poco tiempo.

En la actualidad el uso de software especializado para el diseño, capaz de generar modelos anuales es parte angular de los diseños sustentables ya que nos permite elegir diferentes propuestas o sistemas para resolver los diferentes proyectos, como en este caso. Además, estos presentan no solo el ahorro económico que se pueda tener ya sea a corto o largo plazo, sino que también muestran cómo se utiliza menos energía y en que parte del proyecto se debe enfocar el diseñador para lograr que el sistema alcance su máxima eficiencia, reduciendo el impacto ambiental.

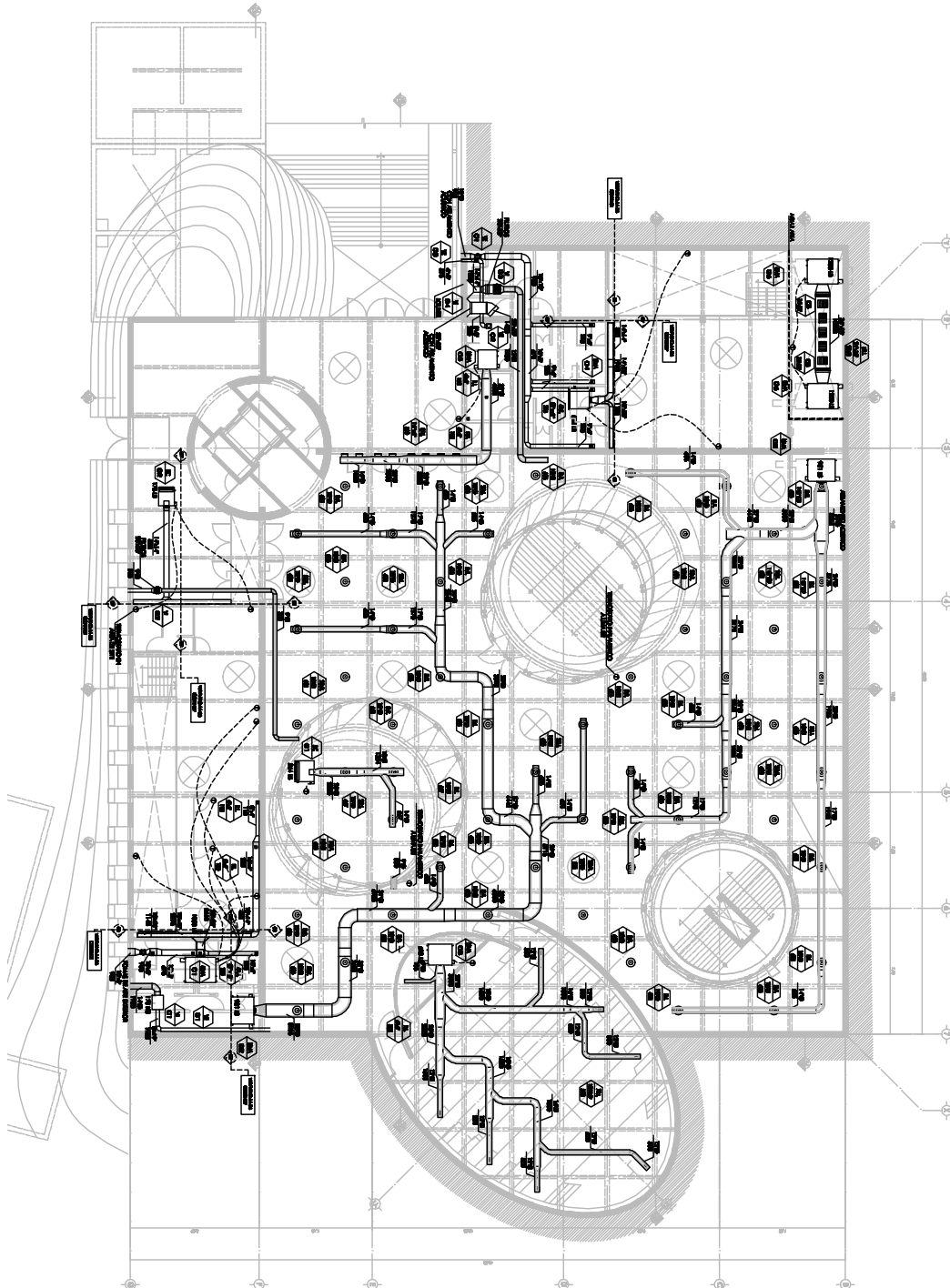
Y aunque un solo proyecto no genera una reducción considerable, el promover estas tecnologías y utilizar proyectos base como ejemplos contribuye a que se promueva y se utilice más adelante en un mayor número de proyectos, con los cuales sí se tendrá una reducción significativa de energía.

Hay que recordar, que el desarrollo de nuevas tecnologías implica nuevos retos para los proyectistas. En la actualidad los diseñadores de todas las instalaciones electromecánicas deben tener una comunicación abierta desde las primeras etapas de los proyectos y un conocimiento general de los otros sistemas, con la finalidad de establecer las rutinas de control, la comunicación entre los equipos de las diferentes instalaciones y las reacciones que deben tener cada uno ante una determinada señal generada por un equipo de otro sistema o por el entorno. Es por esto que se elaboran las secuencias de operación tomando en cuenta el funcionamiento de los demás sistemas. Esto implica una buena relación de trabajo en equipo entre los dueños, los arquitectos, los ingenieros eléctricos, los de sistemas mecánicos, hidráulicos, de seguridad, de protección contra incendios, de telecomunicaciones y todos los involucrados en el proyecto, para que al final el dueño obtenga lo que está buscando y si es posible aún más beneficios.

REFERENCIAS

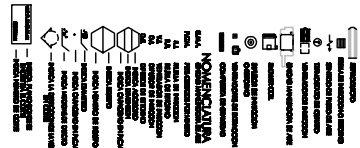
1. AKF México, Memoria De Calculo De Aire Acondicionado, Museo Nacional De La Piel Y El Calzado, 2007
2. AKF México, Memoria Descriptiva De BMS, Museo Nacional De La Piel Y El Calzado, 2007
3. AKF México, Secuencia de Operación y Control, Aire Acondicionado, Museo Nacional De La Piel Y El Calzado, 2007
4. Handbook HVAC Applications, ASHRAE, 1995, capítulo 40: Termal Storage.
Para aspectos generales consultar:
 - 4.1. <http://calmac.com/benefits/>
 - 4.2. <http://calmac.com/benefits/general.pdf>
 - 4.3. <http://calmac.com/benefits/technical.pdf>
5. Hernandez Goríbar Eduardo; Fundamentos De Aire Acondicionado y Refrigeración, Ed. Limusa, 1ª Edición, México 1978
6. <http://lfc.gob.mx/tarifaEnergia12>
7. HVAC Systems Control, Air Conditioning Clinic From TRANE, No TRG-TRC017 EN
8. Ice Storage Systems, Air Conditioning Clinic From TRANE, No TRG-TRC019 EN
9. Incropera Frank y DeWitt David; Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Ed. John Wiley & Sons, 4ª Edición, USA
10. Ogata Katsuhiko; Ingenieria De Control Moderna, Ed. Pearson Y Prentice Hall, 4ª Edición, Madrid 2003
11. Wark Kenneth; Termodinámica, Ed. McGraw Hill, 6ª Edición, España 2001

● TEN ANQUILICIOS



NOTAS

- 1. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS SUPERIORES.
- 2. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS INFERIORES.
- 3. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 4. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 5. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 6. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 7. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 8. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 9. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.
- 10. VER PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE DE LAS PLANTAS DE SERVIDORES.

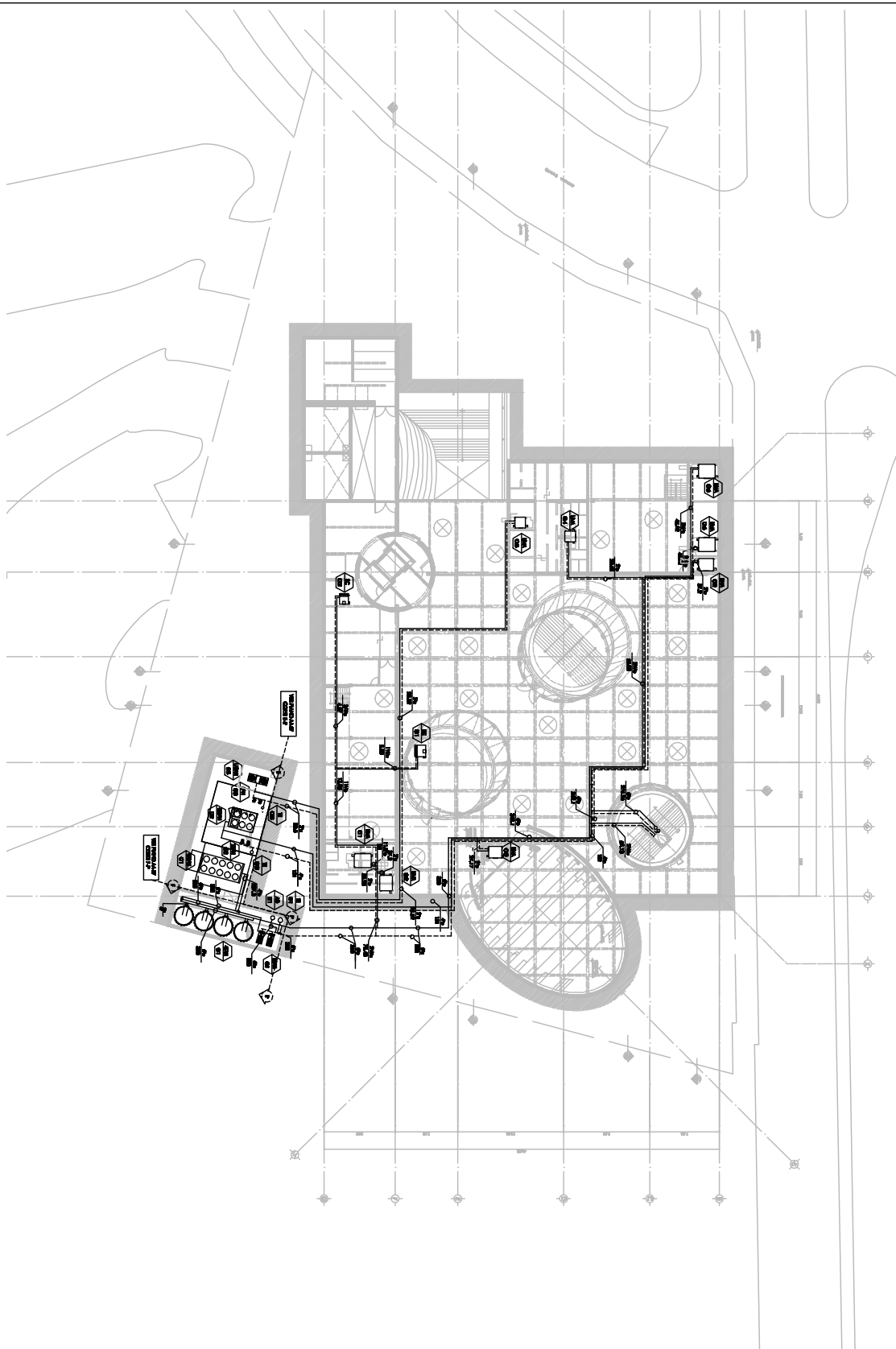


Propiedad Intelectual de AKF México S. de R.L. de C.V. Todos los Derechos reservados 2007

<p>AKF MÉXICO S. DE R.L. DE C.V. CALLE DE LOS RÍOS 100, COL. SAN PEDRO DE LOS RÍOS, CDMX, C.P. 06702</p>	<p>TEN ANQUILICIOS CALLE DE LOS RÍOS 100, COL. SAN PEDRO DE LOS RÍOS, CDMX, C.P. 06702</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTISTA AKF MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>
	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	<p>PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS</p>	PROYECTO MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LOS RÍOS

PLANO AA-02 DISTRIBUCIÓN DE AGUA HELADA PLANTA BAJA

● TEN ANQUETOS



- NOTAS**
- 1. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 2. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 3. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 4. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 5. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 6. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 7. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 8. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 9. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.
 - 10. VERIFICAR LA EXISTENCIA DE LOS SERVIDORES EN EL PUNTO DE ENTREGA DE AGUA HELADA.

Propiedad Intelectual de AEP México S. de RL. de CV. Todos los Derechos reservados 2007

<p>AEP AGUAS ENTUBADAS DE MÉXICO S. DE R. L. DE C. V.</p>	<p>PROYECTO TEN ANQUETOS</p> <p>CLIENTE MUNIFIC</p> <p>DIRECCIÓN Módulo de Agua Fría y Caliente</p>	<p>FECHA 11/08/07</p> <p>ESCALA 1:100</p> <p>NO. DE PLAN AA-02</p>
	<p>PROYECTISTA ING. JOSÉ ANTONIO GARCÍA</p> <p>REVISOR ING. JOSÉ ANTONIO GARCÍA</p> <p>APROBADO ING. JOSÉ ANTONIO GARCÍA</p>	<p>PROYECTO TEN ANQUETOS</p> <p>CLIENTE MUNIFIC</p> <p>DIRECCIÓN Módulo de Agua Fría y Caliente</p>	FECHA 11/08/07 ESCALA 1:100 NO. DE PLAN AA-02

